Instituto Superior de Engenharia do Porto
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Investigações hidrogeológicas da sondagem CC3 do aquífero termomineral de Chaves: implicações para o modelo conceptual

Hugo Noé Gomes Freitas

2015

(página propositadamente em branco)

Instituto Superior de Engenharia do Porto

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA GEOTÉCNICA

Investigações hidrogeológicas da sondagem CC3 do aquífero termomineral de Chaves: implicações para o modelo conceptual

Hugo Noé Gomes Freitas

1090919

__Projecto__ apresentado ao Instituto Superior de Engenharia do Porto para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de __Mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente__, realizada sob a orientação do Doutor José Martins Carvalho, Professor Emérito do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP e do Doutor Helder I. Chaminé, Professor Coordenador com Agregação do Departamento de Engenharia Geotécnica do ISEP.

(página propositadamente em branco)

Júri

Presidente

Doutor Helder Gil Iglésias de Oliveira Chaminé
Professor Coordenador com Agregação, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor José Martins Carvalho
Professor Emérito, Instituto Superior de Engenharia do Porto, Politécnico do Porto
Sócio-Gerente TARH – Terra, Ambiente e Recursos Hídricos Lda, Sacavém - Lisboa

Doutora Maria José Coxito Afonso
Professora Adjunta, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Doutor João Paulo Meixedo dos Santos Silva
Professor Adjunto, Instituto Superior de Engenharia do Porto

Mestre Albino Luiz Carvalho Medeiros
Sócio-Gerente GRANDEWATER – Hidrogeologia Aplicada Lda, Azeitão - Setúbal
Professor Auxiliar Convidado, Universidade Nova de Lisboa

*A tese de **mestrado em engenharia geotécnica e geoambiente** (MEGG) foi apresentada e defendida em prova pública, pelo Licenciado **Hugo Noé Gomes Freitas**, no Auditório de Geotecnia do Departamento de Engenharia Geotécnica (ISEP) em 29 de Outubro de 2015 mediante o júri nomeado, em que foi atribuída, por unanimidade, a classificação final de **18 (dezoito) valores**, cuja fundamentação se encontra em acta. Todas as correções pontuais determinadas pelo júri, e só essas, foram efectuadas.*

Dedico esta tese a meus Pais…

(página propositadamente em branco)

Agradecimentos

Gostaria de expressar os meus sinceros agradecimentos a todos os quantos, de uma ou de outra forma, me ajudaram na elaboração deste documento, em particular:

Aos meus orientadores, pela supervisão e apoio nos trabalhos elaborados, que, de um modo geral, foram basilares para a elaboração desta dissertação.

Ao Professor José Martins Carvalho (DEG|ISEP e TARH Lda), por ter proporcionado as condições para que esta investigação se tivesse tornado uma realidade, mas também pelos momentos que privámos onde foi um prazer e uma honra partilhar a sua vasta experiência. Agradeço também o rigor técnico-científico sempre incutido, bem como a cedência de bibliografia e dados da especialidade.

Ao Professor Helder I. Chaminé (DEG|ISEP) expresso o meu sincero reconhecimento e agradecimento especial pela constante disponibilidade e dedicação no acompanhamento da presente investigação.

À Dr. Liliana Freitas (LABCARGA|ISEP), o meu sincero agradecimento pela dedicação no tratamento e vectorização de algumas ilustrações e formatação do documento na recta finalíssima da submissão deste estudo.

À empresa TARH – Terra, Ambiente & Recursos Hídricos, Lda, na pessoa do Professor Doutor J. Martins Carvalho, a permissão na utilização de todos os elementos dos relatórios inéditos e o apoio financeiro para o bom desenrolar dos trabalhos de campo.

Ao Laboratório de Cartografia e Geologia Aplicada (LABCARGA|ISEP) do Instituto Superior de Engenharia do Porto, na pessoa do seu director Professor Doutor Helder I. Chaminé, por todas as facilidades concedidas na utilização dos recursos do laboratório.

À restante equipa do LABCARGA|ISEP agradeço a disponibilidade com que me receberam, pelo bom ambiente e pelas excelentes condições de acolhimento proporcionados para o bom desenvolvimento desta investigação.

Às Caldas de Chaves, pela total disponibilidade no acesso à informação durante a execução dos trabalhos de construção do furo de captação de água mineral CC3.

Ao Professor José Teixeira (LABCARGA|ISEP) pela constante boa disposição e precioso auxílio prestado na elaboração digital dos perfis das captações.

Ao Laboratório de Geotecnia e Materiais de Construção (LGMC|ISEP), na pessoa do Doutor J.A. Fernandes, pela cedência de equipamento laboratorial.

Ao Engenheiro Rogério Pinheiro (LGMC|ISEP), pela ajuda na preparação de provetes para análise por fluorescência de Raio X.

A todos os meus colegas e amigos do Curso de Engenharia Geotécnica e Geoambiente por todo o companheirismo, camaradagem e convívio acima de tudo, ao longo destes anos.

Por fim, mas não menos importante, queria agradecer aos meus Pais que sempre me deram o apoio necessário, proporcionaram a possibilidade de investir na minha formação e sempre acreditaram em mim.

A todos, sem excepção, o meu ***Muito Obrigada!***

(página propositadamente em branco)

Palavras-chave

Hidrogeologia, engenharia de águas subterrâneas, modelo hidrogeológico conceptual, aquífero termomineral de Chaves

Resumo

O presente estudo centra-se na conceptualização de pormenor do modelo de circulação do aquífero termomineral de Chaves na sua zona de descarga no campo hidromineral e geotérmico de Chaves (Norte de Portugal). Para tal, utilizam-se as informações resultantes da bibliografia disponível, da construção das captações de água termomineral AC1 e AC2, já existentes, e, principalmente, as informações obtidas a partir dos trabalhos de pesquisa, prospecção e construção da captação CC3, obra desenvolvida no ano de 2014 para reforço de caudal das Caldas de Chaves. Incidindo fundamentalmente na análise de perfis geofísicos, de parâmetros de perfuração, "cuttings" e diagrafias diferidas inerentes à sondagem de pesquisa CC3, e da sua posterior transformação em captação, integrando-se posteriormente toda a informação daí resultante, o estudo culmina na apresentação de um modelo conceptual de pormenor para a circulação de águas tipo "Chaves" na zona de descarga que permite, com considerável robustez, à luz dos dados conhecidos à presente data, o melhor conhecimento do aquífero para futuros projectos de desenvolvimento dos recursos hidrominerais e geotérmicos de Chaves.

(página propositadamente em branco)

Keywords

Hydrogeology, groundwater engineering, hydrogeological conceptual model, Chaves thermo-mineral aquifer.

Abstract

The present study focuses on detail conceptualisation of Chaves (North Portugal) thermomineral aquifer circulation model, in its discharge zone and, in Chaves hydromineral and geothermal field, commonly known for producing Chaves water. To achieve that, bibliographic information from the existing thermomineral water wells, AC1 and AC2 was retrieved, as well as, research papers regarding survey and construction of water well, CC3, developed in 2014 for water flow increment of Caldas de Chaves. Compilation of geophysical log analysis, drilling parameters, cuttings, CC3 water well diagraphs, culminate this study in a water circulation conceptual model. This conceptual site model, details the aquifer discharge area which, allow a better comprehension for future hydromineral resources and geothermal development projects in Chaves area.

(página propositadamente em branco)

Índice Geral

1. Introdução geral 3

1.1. Objectivos 3

1.2. Organização da dissertação 4

1.3. Técnicas - Mineralogia aplicada 4

2. As águas minerais e a geologia (Oliveira et al., 2015) 9

3. Hidrogeologia: ciência multidisciplinar (Assaad et al., 2004; Carvalho, 2006; Fetter, 2014) 9

4. Prospecção, pesquisa e captação: importância (Capucci et al., 2001; Carvalho, 2006) 10

5. Prospecção (Bisson & Leher, 2004; Carvalho, 1984, 2006) 11

5.1. Hidrogeologia de maciços rochosos fracturados (Lloyd, 1999; Carvalho, 2006; Scesi & Gattinoni, 2009) 12

5.2. Armadilhas geológicas 14

5.3. Modelo conceptual hidrogeológico (Carvalho, 2006; Kresik & Mikszewski, 2013; Chaminé et al., 2013) 16

5.4. Metodologia de prospecção (Carvalho, 2006) 17

5.5. Técnicas de prospecção (Assaad et al., 2004; Bisson & Leher, 2004; Carvalho, 2006) 18

5.5.1. Reconhecimento (Carvalho, 2006) 19

5.5.2. Inventário hidrogeológico (Carvalho, 2006; Chaminé et al., 2013) 19

5.5.3. Topografia (Carvalho, 2006; Teixeira et al., 2013) 20

5.5.4. Cartografia hidrogeológica (Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2014; Chaminé et al., 2013) . 20

5.5.5. Fotografia aérea e detecção remota (Carvalho, 2006) 20

5.5.6. Prospecção hidrogeofísica (Carvalho, 2006) 21

5.6. Metodologia de prospecção hidrogeológica: maciço antigo Português (Carvalho, 2006) 21

6. Pesquisa (Carvalho, 2006) 23

6.1. Critérios de implantação (Carvalho, 2006) 23

6.2. Projecto de pesquisa e captação (Carvalho, 2006) 25

6.2.1. Directrizes para a construção de furos de pesquisa e eventual captação (Ferreira et al., 2012) .. 25

6.3. Perfuração (Graça, 2012) 26

6.3.1. Perfuração não destrutiva (Graça, 2012) 27

6.3.2. Métodos de perfuração destrutiva 28

6.3.2.1. Perfuração por percussão mecânica 28

6.3.2.2. Perfuração por martelo de fundo de furo 28

6.3.2.3. Perfuração por rotação (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012) 30

6.3.3. Vantagens e desvantagens 32

6.3.4. Fluidos de circulação 34

6.3.4.1. Lamas (Graça, 2012) 36

6.3.5. Síntese dos métodos de perfuração destrutiva 37

6.3.6. Metodologia de perfuração em maciços rochosos fissurados antigos (Carvalho, 2006; Ferreira et al., 2012) 39

6.4. Controlo hidrogeológico (Carvalho, 1973, 2006; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 39

6.5. Diagrafias (Feitosa & Filho, 2000; Carvalho, 2006; Graça, 2012) 41

6.6. Controlo da verticalidade da perfuração (Graça, 2012) 42

7. Captação (Graça, 2012) 42

7.1. Estrutura do projecto de captação (Graça, 2012) 44

7.2. Selecção dos diâmetros de perfuração (Graça, 2012) 44

7.3. Selantes e isolamentos 45

7.4. Tubagens de isolamento intercalar 46

7.5. Coluna de revestimento definitivo 46

7.5.1. Tubagens de revestimento mais utilizadas (Graça, 2012) 49

7.5.2. Tubos-ralo (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 49

7.5.2.1. Localização e extensão dos tubos-ralo (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012) 50

7.5.3. Centralizadores das tubagens de revestimento definitivo 51

7.6. Maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 51

7.6.1. Características do maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998; Ferreira et al, 2012; Graça, 2012) ... 53

7.7. Limpeza e Desenvolvimento (Costa Filho et al., 1998; Capucci et al., 2001; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 54

7.7.1. Métodos de desenvolvimento (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 56

7.7.2. Planificação da limpeza e desenvolvimento (Graça, 2012) 57

7.8. Ensaios de caudal (Carvalho, 1973; Driscoll, 1986; Feitosa & Filho, 1998; Custodio & Llamas, 2001; Sterrett, 2007; Ferreira et al., 2012) 57

7.8.1. Metodologia para realização de ensaios de caudal 59

7.8.2. Eficiência da captação (Feitosa & Filho, 2000; Pires de Carvalho, 2002; Jorba & Rocha, 2007; Sterrett, 2007) 62

7.8.3. Definição do caudal de exploração (Carvalho, 2006) 63

7.9. Vistoria (Graça, 2012) 64

7.10. Desinfecção (Graça, 2012) 66

7.11. Acabamento (Ferreira et al., 2012) 66

8. Equipamento de bombagem (Carvalho, 2006; Ferreira et al., 2012) 67

9. As Caldas de Chaves 71

9.1. Dados históricos, o impacto das Caldas de Chaves na região desde os tempos Romanos 72

9.2. A concessão 74

9.3. Enquadramento geológico 76

9.4. Enquadramento tectónico 78

9.5. Enquadramento hidrogeológico 79

10. Enquadramento local 85

10.1. Aquífero hidromineral 88

10.1.1. Manifestações geotérmicas e Histórico de captações 88

10.1.2. O modelo conceptual actual 93

11. A captação CC3, importante fonte de informação 101

12. Aquisição de informação hidrogeológica com base nos trabalhos de construção da captação CC3 102

12.1. Trabalhos de prospecção 102

12.1.1. Prospecção indirecta 102

12.2. Trabalhos de pesquisa 109

12.2.1. Perfuração da sondagem CC3 109

12.2.2. Controlo hidrogeológico 111

12.3. Reconstituição do log da sondagem 123

12.4. Diagrafias 127

12.4.1. Identificação de níveis circulados 127

12.4.2. Identificação dos níveis circulados com diferente proveniência 131

12.5. Construção da captação 137

12.6. Ensaios de caudal 141

12.6.1. Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral de Chaves 147

12.7. Eficiência da captação CC3 154

12.8. Inspecção vídeo 159

12.9. Integração da informação 164

12.10. Tentativa de interpretação conjunta 175

12.11. Influência da fracturação na zona de descarga do campo hidromineral de Chaves 180

13. Modelo conceptual hidrogeológico 182

13.1. Modelo conceptual hidrogeológico global 182

13.2. Modelo conceptual hidrogeológico para a zona de descarga 182

14. Propostas futuras 188

15. Conclusão 190

16. Referências bibliográficas 193

17. Anexos 201

Índice de Anexos:

Anexo I: Enquadramento geográfico
Anexo II: Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000
Anexo III: Risco sísmico
Anexo IV: Enquadramento geomorfológico
Anexo V: Enquadramento climático
Anexo VI: Enquadramento hidrográfico
Anexo VII: Aquífero sub-superficial
Anexo VIII: Prospecção geofísica
Anexo IX: Análise da amostragem de CC3
Anexo X: Diagrafias
Anexo XI: Ensaios de caudal
Anexo XII: Inspecção vídeo

Índice de figuras

Figura 1. a) Lupa binocular (modelo Kyowa Microscop model SD-2A-2); b) Equipamento de fluorescência de Raio X - NITON XL3t da Thermo Scientific; c) Materiais utilizados na análise química por fluorescência de Raio X; d) Provetes para análise química por fluorescência de Raio X. 5

Figura 2. À esquerda, perfil transversal interpretativo de uma zona de uma falha e a relação do fluxo com o grau de fracturação. As setas mostram a direcção do fluxo da água subterrânea. À direita, esquema ilustrativo da direcção de drenagem devido a uma falha e/ou lineamento tectónico principal (adaptado de Bisson & Leher, 2004) 13

Figura 3. Drenância vertical da zona alterada para a zona fracturada, induzida por bombagem (Carvalho, 2006) 14

Figura 4. Armadilhas hidrogeológicas em rochas cristalinas (Carvalho, 2006). 15

Figura 5. Fases de avanço e de recolha do amostrador no sistema de furação por ”wire line” (Graça, 2012) 27

Figura 6. Perfuração por martelo de fundo de furo com martelo de fundo-de-furo e circulação directa (adaptado: Ferreira et al., 2012; Graça, 2012). 29

Figura 7. Perfuração por rotação múltipla com circulação directa (adaptado: Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 31

Figura 8. Perfuração por rotação com circulação inversa (Ferreira et al., 2012). 32

Figura 9 . Formação do filme gelatinoso e penetração das lamas de estabilização no maciço (Ueda et al., 2004) 37

Figura 10. Exemplo da disposição das amostras das formações geológicas atravessadas e respectivas etiquetas (Ferreira et al., 2012). 39

Figura 11. Exemplo genérico das principais fases de construção de uma captação (caso de um furo com redução de diâmetro da coluna de revestimento), (Ferreira et al., 2012). 43

Figura 12. Planificação de diâmetros de perfuração segundo os factores intervenientes (Graça, 2012). 45

Figura 13. Esquema simplificado de um furo em “open hole” (Graça, 2012). 48

Figura 14. a) Centralizador em fero com quatro hastes de apoio. b) Centralizador em PVC com três hastes de apoio (Graça, 2012). 51

Figura 15. Tubo-ralo em PVC pré-fabricados com areão colado (Tubofuro. Tubos em PVC S.A.). 53

Figura 16. Estrutura do material geológico do aquífero após desenvolvimento quando não se utiliza maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998) 55

Figura 17. Manual furos captação água – A) Zona da captação antes do desenvolvimento; B) Zona da captação após desenvolvimento, com material mais grosseiro e uniforma junto à parede exterior do revestimento (Ferreira et al., 2012). 56

Figura 18. À esquerda, estrutura em ponte desenvolvida pelas partículas do maciço. À direita, formação de estruturas em ponte na ilustração superior, e na ilustração inferior destruição de estruturas em ponte provocada pela reversão do fluxo da água (Costa Filho et al., 1998). 57

Figura 19. Dispositivo de medição de níveis e dispositivos de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro (Ferreira et al., 2012). 59

Figura 20. Curvas rebaixamento X tempo referentes a ensaios de caudal escalonados com e sem recuperação (Feitosa & Filho, 2000). 61

Figura 21. Curva rebaixamento X tempo mostrando o comportamento do regime transitório e do regime permanente (Feitosa & Filho, 2000). 62

Figura 22. Esquema clássico simplificado do "lay-out" de montagem do equipamento de bombagem e respectivos acessórios de comando e controlo (Ferreira et al. 2012) 67

Figura 23. Buvette público e instalações das Termas. (fonte: Oliveira, 2011; Diário de Trás-os-Montes, 2013; Cagido, 2012) 71

Figura 24. Imagens (da década de 40) do buvette construído em 1934, posteriormente demolido no ano de 1952. (fonte: Ribeiro, 2005; Santos, 2014) 73

Figura 25. Identificação da área abrangida pelo perímetro de protecção da concessão HM-9. O polígono delimitado a vermelho corresponde ao perímetro da zona de protecção alarga. A área demarcada a amarelo define a zona de protecção intermédia. Os balões amarelo e verde indicam a localização das captações AC1 e AC2, respectivamente. 75

Figura 26. Enquadramento do conselho de Chaves na folha Norte da carta geológica de Portugal à escala 1/500 000 - Laboratório nacional de energia e geologia – LNEG (Coelho & Miranda, 2007-2008). 76

Figura 27. a) estrato da carta Neotectónica de Portugal continental à escala 1/1000000 (Bateira et al., 2007); b) Enquadramento tectónico do graben de Chaves (Martins, 2009); c) Corte transversal da bacia de Chaves (Geologia no verão, 1999). 79

Figura 28. Carta hidrogeológica regional (Carvalho, 2006). 81

Figura 29. Nascentes e usos de águas minerais na região de Trás os Montes e Alto Douro (Rodrigues et al., 2006). 83

Figura 30. Em cima, distribuição das mais importantes águas minerais no Alto-Tâmega (Carvalho, 2006). Em baixo, esquematização simplificada do modelo circulatório de algumas dessas águas (Carreira et al., 2008). 84

Figura 31. Enquadramento geológico e tectónico da bacia de Chaves (GeothermEx, Inc., 2010). 86

Figura 32. Esboço geológico-estrutural da Região de Chaves (Grade & Moura, 1982). 87

Figura 33. Esboço geológico do campo hidromineral de Chaves (Carvalho & Silva, 1988). 89

Figura 34. Localização das nascentes e captações de água termal no campo hidromineral de Chaves. a) enquadramento geográfico da área de concessão; b) enquadramento geológico da área de concessão; c) distribuição das emergências termais; d) localização das captações de água mineral. (Adaptado de Carvalho & Silva, 1988). 90

Figura 35. Projecto das captações AC1 e AC2 (Carvalho & Silva, 1988). 91

Figura 36. Modelo conceptual proposto em Carvalho & Silva (1988). 94

Figura 37. Localização da zona de fossa coincidente com o suposto reservatório geotérmico: a) enquadramento geográfico em imagem satélite; b) enquadramento na carta geológica 1/50000) e exposição do perfil e modelo gravimétrico (GeothermEx, Inc., 2010). 95

Figura 38. Modelos de circulação propostos segundo a bibliografia: a) Modelo geral de circulação das águas minerais de Chaves (Machado, 2009); b) Modelo de circulação das águas mineral na bacia sedimentar de Chaves (Machado, 2009); c) Representação horizontal do modelo de circulação das águas minerais de Chaves (Santos et al., 1996). 97

Figura 39. Localização das captações de água mineral AC1, AC2 e CC3. 101

Figura 40. Evolução de F1 em profundidade (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012). 104

Figura 41. Sobreposição de AC1 e AC2 nos perfis PSX-3 e PSX-2, respectivamente (para melhor compreensão ver figura 32) (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)..... 105

Figura 42. Representação das falhas e da resistividade inferida para a cota 330 m, que corresponde, no conjunto dos perfis, entre 15 a 20 m de profundidade (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)..... 109

Figura 43. Implantação de CC3 e do respectivo desvio. Comparação do mesmo com o desenvolvimento em profundidade da falha F1 desde a superfície até 100 metros de profundidade (OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)..... 110

Figura 44. Representação da evolução em profundidade dos parâmetros de perfuração medidos em CC3..... 117

Figura 45. Evolução dos parâmetros de controlo hidrogeológico medidos em AC1, AC2, Termas Romanas e Rio Tâmega no decorrer da perfuração de CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014). 121

Figura 46. Representação da evolução do NHD, pH, temperatura, condutividade e caudal extraído medidos em AC1, AC2, CC3, Termas Romanas e Rio Tâmega durante os ensaios de caudal. 145

Figura 47. Evolução dos rebaixamentos em função do tempo no decurso do ensaio de caudal de longa duração com extracção de 15 L/s..... 148

Figura 48. Evolução da recuperação após as etapas de extracção relativas ao ensaio de caudal de longa duração..... 150

Figura 49. Evolução dos rebaixamentos registados nas Termas Romanas durante o ensaio de longa duração realizado em CC3..... 151

Figura 50. À esquerda, representação gráfica caudal/rebaixamento específico para os diferentes escalões do ensaio de caudal de curta duração. À direita, representação da evolução dos rebaixamentos motivados por perdas de carga na captação e aquífero, segundo a equação: $s=BQ+CQ^n$..... 157

Figura 51. Implantação do perfil PSX-5 (OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)). 170

Figura 52. Localização da sondagem no perfil sísmico PSX-5 e correspondente interpretação geológica. A vermelho indica-se a previsão da sondagem em profundidade, a verde apresenta-se a transposição para o perfil do real desenvolvimento da sondagem (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012). ... 171

Figura 53. Representação gráfica da Integração da informação mais relevante adquirida através dos trabalhos de construção da CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014). 174

Figura 54. Modelo conceptual hidrogeológico para as imediações da captação CC3 (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)..... 179

Figura 55. Localização relativa da fracturação, emergências e captações no campo hidromineral de Chaves (Adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012; Lima, 1982; Carvalho & Silva, 1988). 181

Figura 56. Implantação da fracturação, emergências, captações e corte A1-A1' na zona de descarga... 185

Figura 57. Esboço do modelo conceptual geológico para a zona de descarga de água mineral na cidade de Chaves. 186

Figura 58. Modelo conceptual hidrogeológico para a zona de descarga de água mineral na cidade de Chaves. 187

Índice de quadros

Quadro 1. Vantagens e inconvenientes dos diferentes métodos de perfuração (adaptado de Carvalho, 1973, 1984, 2006; Ferreira et al., 2012). 33

Quadro 2. Caracterização dos fluidos de perfuração mais utilizados na perfuração de água subterrânea (adaptado de Ferreira et al., 2012; Graça, 2012). 35

Quadro 3. Síntese geral dos métodos de perfuração (adaptado de Carvalho, 1973, 2006; Graça, 2012). 38

Quadro 4. Tipos de tubos ralo mais utilizados em Portugal nos furos de captação de água mineral ou de nascente (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012) 50

Quadro 5. Necessidade de aplicação do maciço drenante segundo a constituição geológica dos aquíferos (Graça, 2012). 53

Quadro 6. Relação entre as propriedades da água mineral e o tratamento de patologias (Termas de Portugal, 2014). 72

Quadro 7. Caracterização físico-química da água mineral natural das Caldas de Chaves (Termas de Chaves, 2012). 74

Quadro 8. Pontos de referência para a delimitação do perímetro de protecção (Agência portuguesa do ambiente, 2003). 75

Quadro 9. Caracterização das captações AC1 e AC2 e das nascentes Chaves e N.3 (Carvalho et al., 2007; GeothermEx, Inc., 2010). 92

Quadro 10. Estimativa dos recursos geotérmicos em Chaves (Carvalho & Silva, 1998)..... 93

Quadro 11. Pontos destacáveis nos perfis de reflexão sísmica. 103

Quadro 12. Correlações resultantes da sobreposição das captações existentes com os perfis sísmicos próximos às mesmas. 106

Quadro 13. Principais evidências observadas nos perfis de tomografia eléctrica..... 107

Quadro 14. Análise da sobreposição dos perfis de tomografia eléctrica e de sísmica de alta resolução. 108

Quadro 15.Geometria da sondagem CC3. 110

Quadro 16. Compilação dos parâmetros de perfuração medidos em CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014); Ilações resultantes da análise dos parâmetros de perfuração medidos em CC3. 117

Quadro 17. Compilação dos parâmetros de controlo hidrogeológico durante a perfuração de CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de 121

Quadro 18. Reconstituição do log da sondagem – tabela síntese. 126

Quadro 19. Síntese da informação mais relevante adquirida através das diagrafias realizadas em CC3.129

Quadro 20. Exposição do projecto de construção da captação e dos níveis circulados interceptados. . 140

Quadro 21. Parâmetros medidos no decurso dos ensaios de caudal (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014). 145

Quadro 22. Cálculo da transmissividade pelo método de Cooper-Jacob (ensaio de longa duração)..... 148

Quadro 23. Cálculo da transmissividade pelo método de Logan. 149

Quadro 24. Cálculo da transmissividade pelo método de recuperação de Theis (ensaio de caudal de longa duração). 150
Quadro 25. Cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos regionais (ensaios de longa duração). 152
Quadro 26. Parâmetros hidrodinâmicos. 152
Quadro 27.Enquadramento dos valores de transmissividade. 153
Quadro 28. Velocidade de entrada de água em CC3..... 154
Quadro 29. Percentagem de perdas laminares admitindo-se a equação característica da captação: s = BQ+CQn. 157
Quadro 30. Cálculo da eficiência da captação CC3 – relação entre transmissividades. 158
Quadro 31. Observações resultantes da análise da inspecção vídeo a CC3. 160
Quadro 32.Correspondência entre níveis circulados e tramos de tubos ralo (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014). 163
Quadro 33. Integração da informação mais relevante adquirida através dos trabalhos de construção da CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014; OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012). 173
Quadro 34. Zonamento térmico nas imediações de CC3. 178
Quadro 35. Caracterização do aquífero mineral de Chaves na zona de descarga. 185

Parte 1

Introdução geral

1. *Introdução geral*

O presente documento insere-se na unidade curricular "Dissertação/Estágio/Projecto", do 2º ano, do curso de mestrado em Engenharia Geotécnica e Geoambiente do Departamento de Engenharia Geotécnica (DEG) do Instituto Superior de Engenharia do Porto (ISEP), Politécnico do Porto (IPP).

A elaboração e defesa pública deste documento, em formato dissertação, são imperativos para a conclusão do 2.º ciclo de estudos e consequente obtenção do grau de mestre em Engenharia Geotécnica e Geoambiente. Este trabalho enquadra-se ainda, em parte, na investigação do modelo de circulação respeitante à zona de descarga do aquífero termomineral de Chaves e nos trabalhos inerentes à construção da captação CC3 para reforço de caudais nas respectivas termas, projectos desenvolvidos pela empresa TAHR – Terra, Ambiente e Recursos Hídricos, Lda (Sacavém).

1.1. *Objectivos*

O principal objectivo deste trabalho é a conceptualização do modelo de circulação de pormenor do aquífero hidrotermal de Chaves na sua zona de descarga, com principal incidência nos Campos do Tabolado, compreendendo:

- Reconhecimento e caracterização litológica em profundidade;
- Identificação e caracterização de armadilhas hidrogeológicas;
- Verificação de diferentes "tipos" de água circulantes em profundidade;
- Caracterização hidrodinâmica do aquífero;
- Estudo da influência da fracturação sobre a circulação de água mineral;
- Estudo da evolução do gradiente geotérmica e respectiva proposta de zonamento térmico em profundidade.

Para o efeito realizaram-se vários estudos através, essencialmente, da análise da informação obtida nos trabalhos de construção da captação CC3, apontando-se:

- Perfis de tomografia eléctrica e de sísmica de reflexão de alta resolução realizados nos Campos do Tabolado, preconizando a identificação de estruturas geológicas possivelmente circuladas e a diferenciação em profundidade de diferentes horizontes geofísicos que permitam inferir contrastes geológicos em profundidade;
- Parâmetros de perfuração, nomeadamente: identificação de níveis circulados e evolução dos caudais afluentes à captação, pH, temperatura, condutividade e velocidade de perfuração, parâmetros que permitem averiguar a instalação em profundidade de estruturas circuladas, a caracterização relativa das águas aí circulantes e constatar a dureza e fracturação das litologias atravessadas;
- Cuttings de sondagem, amostras que permitem a reconstituição do log de sondagem (primeira vez que é feito algo deste género nos Campos do Tabolado), resultando na identificação litológica em profundidade;
- Diagrafias diferidas, nomeadamente: ensaio de molinetes, registo em profundidade da temperatura e condutividade em regime estático e dinâmico e identificação da instalação e espessura de intercepção de fracturas com a sondagem. Informação a partir da qual se preconiza a identificação de fracturas circuladas e respectiva contribuição hídrica, a diferenciação da água que aí flui e a respectiva evolução térmica em profundidade;
- Endoscopia, que disponibiliza indícios acerca do afluxo de água nos níveis captados previsivelmente circulados;
- Ensaios de caudal. Embora realizados no âmbito do cálculo da eficiência da captação e da caracterização do aquífero, a anexação aos ensaios de registo de pH, Temperatura,

condutividade e níveis nas captações do tipo furo localizadas nos Campos do Tabolado e nas termas romanas permitem tecer ilações sobre a influência entre si e a respectiva origem das influências verificadas;
- Cálculo da eficiência de CC3 e dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral, tendo em vista a caracterização hidráulica da captação e do aquífero.

A análise e posterior integração da informação recolhida no decorrer dos trabalhos mencionados permitiram alcançar os objectivos inicialmente propostos, culminando na elaboração de um modelo hidrogeológico conceptual minimamente robusto capaz de servir de base para futuros projectos de captação de água mineral.

1.2. Organização da dissertação

Para a realização deste estudo propõe-se uma estruturação sistemática e devidamente enquadrada pelas diferentes temáticas. O documento encontra-se estruturado em seis capítulos principais, organizados da seguinte forma:

- O presente capítulo introdutório onde se contextualiza o trabalho referindo o âmbito e delimitação do tema em que este se insere com a apresentação dos principais objectivos, e alusão às metodologias e técnicas utilizadas no decurso da investigação;
- O capítulo 2 apresenta o suporte teórico às principais noções, metodologias e técnicas relacionadas com a circulação, prospecção, pesquisa e captação de água mineral;
- O capítulo 3 enquadra o caso prático - desenvolvimento do modelo conceptual de circulação de água mineral na zona de descarga das Caldas de Chaves. Referem-se algumas generalidades sobre as Caldas de Chaves, a área em estudo e a sua situação geográfica, geológica, geomorfológica e hidrogeológica, e sobre o modelo conceptual geral de circulação da água mineral de Chaves;
- O capítulo 4 reporta o estudo desenvolvido, o qual decorre essencialmente com base nos trabalhos de construção da captação CC3 (e nas informações provenientes das captações AC1 e AC2, já existentes), culminando na proposta do modelo conceptual de circulação para a zona de descarga das águas minerais de Chaves, apontando ainda uma série de propostas futuras;
- O capítulo 5 enumera uma listagem das referências bibliográficas consultadas ao longo do estudo;
- E, por fim, os anexos, onde se encontra diversa informação complementar ao exposto nos capítulos anteriores.

1.3. Técnicas - Mineralogia aplicada

O presente caso de estudo comtemplou a recolha de amostras dos “cuttings” de sondagem da captação CC3 que, posteriormente, foram catalogadas e organizadas consoante a sua profundidade na referida sondagem.

As amostras dos “cuttings” foram analisadas a olho nu e à lupa binocular (modelo Kyowa Microscop model SD-2A-2) (figura 1 a)) segundo as propriedades enumeradas na ficha de registo criada para o efeito, o que permitiu sistematizar a informação, facilitando a posterior reconstituição do log de sondagem.

Para despiste de desvios e confirmação da definição dos horizontes litológicos resultantes da reconstituição do log de sondagem, foi ainda realizada a análise por fluorescência de Raio X com

recurso ao equipamento NITON XL3t da Thermo Scientific (figura 1 b)) sobre os finos dos "cuttings" de sondagem (figura 1 c) e d)), que embora não permita identificar a presença de alguns dos elementos químicos necessários ao reconhecimento de indicadores geoquímicos passíveis de relacionar com as litologias atravessadas, possibilitou, através do contraste de valores relativos entre "cuttings", averiguar o acerto da localização em profundidade das interfaces litológicas definidas pela análise visual.

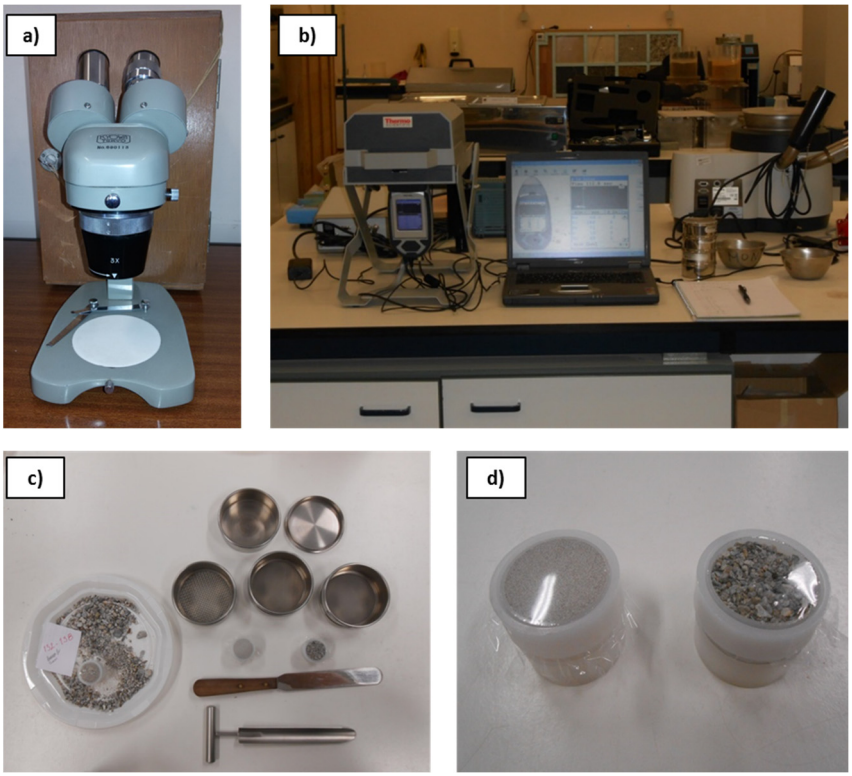


Figura 1. a) Lupa binocular (modelo Kyowa Microscop model SD-2A-2); b) Equipamento de fluorescência de Raio X - NITON XL3t da Thermo Scientific; c) Materiais utilizados na análise química por fluorescência de Raio X; d) Provetes para análise química por fluorescência de Raio X.

Parte 2

Prospecção, pesquisa e captação de água subterrânea: breve síntese

2. As águas minerais e a geologia (Oliveira et al., 2015)

As águas minerais são um recurso natural que, segundo a legislação portuguesa, se enquadram no domínio dos recursos geológicos e, dentro deste, no domínio dos recursos hidrominerais. Uma água é designada mineral natural se for bacteriologicamente própria, de circulação profunda, com particularidades físico-químicas estáveis na origem dentro da gama de flutuações naturais, de que resultam propriedades terapêuticas ou simplesmente efeitos favoráveis à saúde.

As águas minerais, sendo de circulação subterrânea, estão em contacto por um período de tempo com as rochas por onde passam. No percurso no subsolo, desde o local onde se inicia a infiltração até ao local da emergência, a água efectuou um circuito, com uma determinada profundidade, que pode atingir vários milhares de metros, e foi reagindo com as rochas encaixantes a uma determinada temperatura, que, por exemplo no Alto Tâmega, resulta principalmente da difusão térmica a partir do manto. As características físico-químicas dessa água, como o pH, a temperatura, a mineralização total e a natureza dos componentes iónicos, entre outros, dependem do contexto litoestrutural e tectónico enquadrante do circuito hidromineral, da profundidade atingida, do tempo de residência, da velocidade de fluxo e da estabilidade das suas características até a emergência, da comunidade microbiológica associada, etc.

Ao reagir com as rochas, a água adquire componentes inerentes às suas composições mineralógicas, pelo que de rochas diferentes resultam águas com características diferentes. O tempo que a água interage com a rocha também é fundamental para a mineralização. Esta, normalmente está na razão directa com esse tempo de interacção, que pode ser da ordem dos milhares de anos. A temperatura é também um factor favorável no processo de interacção água-rocha, sendo que maiores temperaturas ocasionam normalmente aguas mais mineralizadas. A temperatura de emergência é inferior, na maioria dos casos bastante inferior, á temperatura máxima atingida no reservatório; esta vai decaindo ao longo do circuito hidráulico ascendente. A título de exemplo, apontam-se temperaturas de reservatório da ordem de 100 °C a 120 °C para as águas gasocarbónicas da região situada entre Vila Pouca de Aguiar e Vilarelho da Raia, com temperaturas de emergência da ordem dos 16 °C para as aguas não termais e da ordem dos 73°C para as águas termais.

A comunidade microbiológica, que faz parte integrante da composição das águas minerais, poderá também contribuir especificamente para a diversidade e especialização da riqueza hidromineral. Assim, constata-se que a natureza das águas minerais é tão diversa quanto a diversidade de parâmetros intervenientes no circuito hidromineral, é esta diversidade que determina a riqueza do património hidromineral (Oliveira et al., 2015).

3. Hidrogeologia: ciência multidisciplinar (Assaad et al., 2004; Carvalho, 2006; Fetter, 2014)

A Hidrogeologia é actualmente uma disciplina muito dinâmica, de grande impacto científico – e por vezes social – que congrega as Geociências e Ciências da Engenharia apoiando-se em instrumentos que vão desde a geologia, química, hidráulica à modelação matemática (*e.g.*, Fitts, 2013; Fetter, 2014).

A prospecção hidrogeológica reúne, em geral, meios indirectos, tais como: reconhecimentos geológicos e geomorfológicos prévios de terreno, cartografia geológico-estrutural, cartografia fotogeológica e hidrogeológica, rastreios hidroquímicos e levantamentos geofísicos. A modelação de sistemas hidrogeológicos numa base georreferenciada é hoje uma ferramenta de rotina na prática hidrogeológica. A exploração do georrecurso água subterrânea engloba a construção de

estruturas captantes, geralmente furos verticais (inclinados ou horizontais) e a monitorização da extracção em termos dos parâmetros físico-químicos, microbiológicos e hidrodinâmicos.

A Hidrogeologia é entendida como o estudo das águas subterrâneas e enquadra as relações entre os processos geológicos e a água. É uma área do conhecimento fortemente interdisciplinar. Ao técnico especialista em hidrogeologia com diversos perfis e competências específicas – Geólogo, Engenheiro Geólogo, Engenheiro de Recursos Hídricos, Engenheiro Geotécnico, Engenheiro de Minas, Engenheiro Civil, Engenheiro Agrónomo, Geógrafo do Território, etc. – é exigido treino em geologia, geomorfologia, hidráulica, matemática, física, química e computação. Portanto, o saber do hidrogeólogo prospector, embora não estando na moda nem no topo das preocupações da comunidade científica, não pode ser considerado um ramo menor da actividade hidrogeológica. A sua prática exige cada vez maior interdisciplinaridade e versatilidade e a respectiva importância vai, pelo menos, manter-se no futuro (Carvalho, 2006).

4. Prospecção, pesquisa e captação: importância (Capucci et al., 2001; Carvalho, 2006)

Embora, teoricamente, a água subterrânea esteja presente em qualquer lugar, isso não significa que uma captação possa ser localizada em qualquer lugar. A captação de água subterrânea tem um custo por vezes elevado e, portanto, não deve ser feita sem critérios. Existem factores naturais que condicionam a distribuição e concentração da água subterrânea em certos locais, constituindo pontos de melhor rendimento para a instalação futura de uma captação, proporcionando o empreendimento mais proveitoso e evitando ou diminuindo a taxa de insucessos.

Assim, o mesmo aplica-se em relação à construção da captação. Uma captação é uma obra de engenharia que leva em consideração as condições hidrogeológicas, hidrodinâmicas e físico-químicas da formação geológica a ser explorada. Não é um simples furo com paredes parcial ou totalmente revestidas. Portanto, se correctamente localizado, projectado, e executado, a captação proporcionará um rendimento e uma vida útil bastante maiores (Capucci et al., 2001).

A execução destes pressupostos exige o desenvolvimento de um conjunto de estudos e técnicas compreendendo várias etapas, as quais se apresentam e ordenam (Carvalho, 2006):

(i) **Prospecção**, que integra, sobretudo, estudos e reconhecimentos de superfície (reconhecimentos geológicos e geomorfológicos prévios de terreno, cartografia geológica, fotogeológica e hidrogeológica, inventário hidrogeológico, rastreios hidroquímicos e levantamentos geofísicos). A prospecção em profundidade reúne, em geral, meios indirectos, mas pode incluir sondagens no caso de os objectivos estarem mal definidos à superfície, ou se localizarem a grande profundidade;

(ii) **Pesquisa**, destinada a caracterizar o recurso, o que pressupõe a realização de sondagens e ensaios de caracterização hidrodinâmica e hidroquímica dos aquíferos ou zonas aquíferas para avaliação das produtividades e da qualidade da água;

(iii) **Captação**, que inclui a construção das estruturas captantes (generalizadamente furos, hoje em dia) para a extracção dos caudais pretendidos, compatíveis com as disponibilidades estimadas na fase de pesquisa;

(iv) **Exploração**, que inclui a extracção, a monitorização – em termos físico-químicos, microbiológicos e hidrodinâmicos – a protecção e a gestão. Embora a exploração não seja objecto de estudo neste documento, deve-se ter em mente esta etapa que, quando racionalmente planificada, conduz a uma optimização do aproveitamento dos recursos hídricos subterrâneos.

Em suma, entende-se aqui por prospecção e pesquisa a prática de operações visando a descoberta dos recursos e a determinação das suas características (através da realização de uma carta hidrogeológica e do modelo hidrogeológico conceptual), até à revelação da existência de

valor económico-social; a exploração seria o exercício da actividade posterior à prospecção e pesquisa, ou seja, o aproveitamento económico dos recursos. Em Hidrogeologia, o termo captação é mais usado que o de exploração, mas é de carácter mais restritivo que este último, pois geralmente engloba apenas as estruturas físicas de extracção da água (Carvalho, 2006).

Com a prospecção, pesquisa e captação pretende-se, num empreendimento a desenvolver, a exploração de água segundo os factores quantitativos, qualitativos e económicos adequados ao projecto (Carvalho, 2006):

(i) **Quantidade**: intimamente ligada à condutividade hidráulica e ao coeficiente de armazenamento das formações geológicas. Os aquíferos têm diferentes taxas de recarga, alguns deles recuperam-se lentamente enquanto que em outros a recuperação é mais regular;

(ii) **Qualidade**: influenciada pela composição das formações geológicas que constituem os aquíferos, tempo de contacto entre a água e as formações geológicas percoladas, composição da água de recarga, clima e até mesmo a poluição antrópica. A qualidade é definida pelas características físicas, químicas e biológicas da água. Dentro dos valores encontrados para cada um destes parâmetros é possível estabelecer os diferentes usos: terapia, consumo humano, irrigação, indústria e outros.

(iii) **Económico:** depende da profundidade do aquífero e das condições de bombagem.

Logo, empreendimentos em funcionamento ou em restruturação aos objectivos expostos acima poderão adicionar-se os seguintes, que podem ser cumulativos: (i) aumentar o caudal disponível; (ii) manter a qualidade química e melhorar ou manter a qualidade microbiológica; e, (iii) manter ou aumentar a temperatura. Deve-se ter em conta que a concretização destes objectivos para águas minerais naturais em concessões já existentes inferem as dificuldades subsequentes: (i) é imperativo obter o mesmo tipo específico de água sem contaminação antrópica ou outra; (ii) são muito frequentes as ocorrências tradicionais ficarem situadas em vales onde o aquífero hidromineral está em ligação hidráulica com águas superficiais ou aquíferos "freáticos" contaminados; e, (iii) podem registar-se interferências hidráulicas com águas subterrâneas normais ocorrentes perto da superfície, ou em profundidade (Carvalho, 2006).

Embora para melhor compreensão tenha-se exposto acima a prospecção, pesquisa e captação como etapas individualizadas do desenvolvimento genérico para a realização de projectos com vista à obtenção de água subterrânea num contexto economicamente viável, deve-se ter em constante atenção que o conhecimento do comportamento dos mananciais subterrâneos evolui lentamente no tempo a cada furo perfurado e testado, cada novo nível ou descarga medida, cada nova análise de dados efectuada e a cada novo relatório redigido, pois a complexidade geológica dos reservatórios subterrâneos geralmente compromete as previsões feitas. Assim, só a resposta dos aquíferos á exploração permite caracterizá-los em bases realistas (importância da monitorização), podendo de alguma forma não existir em água subterrânea uma fronteira entre a prospecção, pesquisa, captação e exploração. É impossível dizer onde terminam os estudos e começa a exploração do manancial. As várias fases cruzam-se, podendo-se dizer que a verdadeira pesquisa inicia-se com o início da exploração. Desta forma, é inevitável concluir que a pesquisa de água subterrânea é lenta, cara, progressiva e dificilmente completa (Feitosa & Filho, 2000).

5. Prospecção (Bisson & Leher, 2004; Carvalho, 1984, 2006).

O enquadramento geral da prospecção hidrogeológica é controlado pela procura, isto é, torna-se indispensável, na fase de estudo prévio, caracterizar exactamente os objectivos que o projecto se propõe suprir: que tipo de água, onde, com que caudal e com que periodicidade de utilização. A grande preocupação seguinte é a caracterização geológica, hidrodinâmica e hidroquímica dos

aquíferos. Trata-se então de avaliar as características do reservatório que condicionam a circulação da água subterrânea, isto é, as armadilhas hidrogeológicas existentes, e a qualidade da água tendo em conta eventuais singularidades verticais previstas a nível da coluna geológica a atravessar, facto particularmente relevante para o caso das águas minerais naturais e de nascente (Carvalho, 1973, 1984, 2006). Será a partir da análise integrada dos resultados obtidos no programa de prospecção que se definirão os modelos geológico-estrutural e hidrogeológico da zona de descarga dos aquíferos, onde terão lugar os trabalhos de pesquisa e captação (Vieira da Silva, 2012).

5.1. Hidrogeologia de maciços rochosos fracturados (Lloyd, 1999; Carvalho, 2006; Scesi & Gattinoni, 2009)

Uma descontinuidade é uma entidade geológica que interrompe a continuidade física de uma dada unidade geológica. Quando há indícios de movimento de um plano em relação ao outro são classificados como falhas, quando não se verifica a existência de tal movimento designam-se por diaclases (ISRM, 1981; Scesi & Gattinoni, 2009; Singhal & Gupta, 2010). A circulação da água em rochas duras faz-se ao longo de descontinuidades cujas propriedades, particularmente a abertura, o enchimento e a conectividade, são relevantes para a quantidade e qualidade disponíveis (Carvalho & Chaminé, 2004).

Entre as descontinuidades podem enumerar-se: estratificação, xistosidade, falhas, diaclases (ou juntas) e ainda discordâncias e contactos entre rochas diferentes. Paleoestruturas, filões e diques, zonas de cisalhamento, cavalgamentos, alternâncias de rochas de deformação frágil e o estado de deformabilidade do maciço rochoso, podem condicionar as condições e grandeza do escoamento. A rede de descontinuidades planares (falhas, fracturas, etc.) de um dado maciço rochoso em meios fissurados é vista tradicionalmente como o veículo privilegiado para a circulação de águas subterrâneas e fluidos hidrominerais. A função transmissiva e capacitiva das rochas cristalinas é condicionada pela conectividade das descontinuidades (figura 2). Esta aumenta com o comprimento das fracturas e diaclases e respectiva densidade, pois a probabilidade de intersecção aumenta. Desta enumeração pode concluir-se que o estado da fracturação do maciço: atitude, espaçamento, persistência, densidade, abertura, rugosidade, enchimento e conectividade; é determinante na compreensão dos mecanismos e grandeza da circulação hídrica subterrânea (Carvalho & Chaminé, 2004).

Do ponto de vista metodológico a abordagem anterior é correcta, mas devem ser colocadas algumas reservas relativamente ao seu comportamento hidrogeológico em função da sua génese e tipologia, idade, unidades geológicas e tipo de água procurado. Em falhas de compressão e falhas antigas sem movimentação recente, a porosidade e permeabilidade são muito baixas porque não há descontinuidades circuladas, influenciando negativamente a transmissividade (Carvalho, 2006).

Para além da fracturação dos maciços outro aspecto pertinente é o grau de alteração da matriz rochosa. A alteração de uma rocha consiste na desagregação e decomposição levadas a cabo por agentes físicos e químicos naturais, que transformam essa rocha noutro produto natural, agora em equilíbrio físico-químico com o meio ambiente. O conceito de alterabilidade difere da noção de alteração devido ao facto de o primeiro ser um conceito dinâmico, sendo o conhecimento da composição mineralógica e petrográfica do material rocha fundamental para a sua previsão. Por seu turno, a alterabilidade é a maior ou menor facilidade com que uma rocha se altera no transcorrer da vida de uma dada obra (Aires-Barros, 1991).

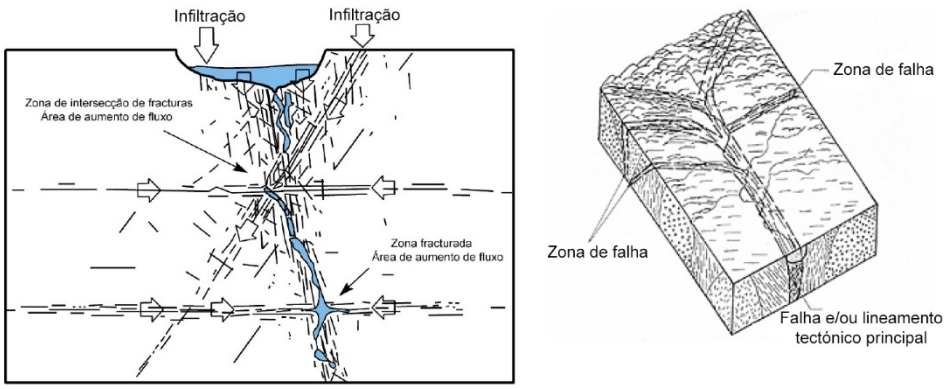


Figura 2. À esquerda, perfil transversal interpretativo de uma zona de uma falha e a relação do fluxo com o grau de fracturação. As setas mostram a direcção do fluxo da água subterrânea. À direita, esquema ilustrativo da direcção de drenagem devido a uma falha e/ou lineamento tectónico principal (adaptado de Bisson & Leher, 2004)

Os principais tipos de alteração responsáveis pela deterioração das rochas são a alteração deutérica, primária ou hipogénica – fenómenos como a caulinização, a cloritização, a silicificação, a serpentinização e a greisenização são exemplos deste tipo - e a alteração meteórica, secundária ou supergénica, intrinsecamente relacionada com acções físico-químicas, como a dissolução, a hidratação, a oxidação, a redução e a hidrólise. A alteração deutérica reporta-se a transformações na generalidade metassomáticas e/ou hidrotermais das rochas, originadas nos períodos tardios da diferenciação magmática. Assim, é usual ocorrer a profundidade relativamente elevada um grau de alteração avançado. Tal facto, na maioria dos casos, deve-se à alteração deutérica e não a qualquer acção de meteorização. Para além da veiculação através das descontinuidades, a circulação de água nas rochas cristalinas faz-se também através dos espaços intersticiais dos minerais, é caso das zonas alteradas (Aires-Barros, 1991; Carvalho, 2006).

Nas rochas cristalinas, a sequência vertical em profundidade e sua espessura é influenciada por condicionalismos resultantes da geologia regional apresentando, em geral, três partes (figura 3), (Lloyd, 1999; Carvalho, 2006):

(i) Uma zona superior, em regra, alterada a muito alterada ou mesmo decomposta com permeabilidade do tipo intersticial (circulação por poros) podendo coexistir com a circulação fissural. Aqui, nos alteritos, instala-se um subsistema livre com transmissividade baixa e coeficiente de armazenamento apreciável;

(ii) Uma zona intermédia com a tipologia característica de maciço rochoso mais ou menos são, intersectado por descontinuidades abertas (do tipo falha, fractura, diaclase, filão, ou contacto) com permeabilidade fissural, formando um subsistema semi-confinado ou confinado, caso se verifique ou não interligação com os alteritos, com transmissividade elevada e baixo coeficiente de armazenamento;

(iii) Uma zona inferior geralmente sã e compacta, com descontinuidades fechadas na qual a permeabilidade é praticamente nula.

Para além das condicionantes anteriormente expostas, a geomorfologia é outro factor influente na circulação hídrica subterrânea: formas estruturais (escarpas de falha e vales de fractura), aplanamentos, formas fluviais de erosão e acumulação (aluviões e terraços), formas de vertente e interflúvios (alvéolos e bacias de enchimento), formas de erosão e acumulação glaciárias e formas litorais (Carvalho, 2006; Teixeira, 2011).

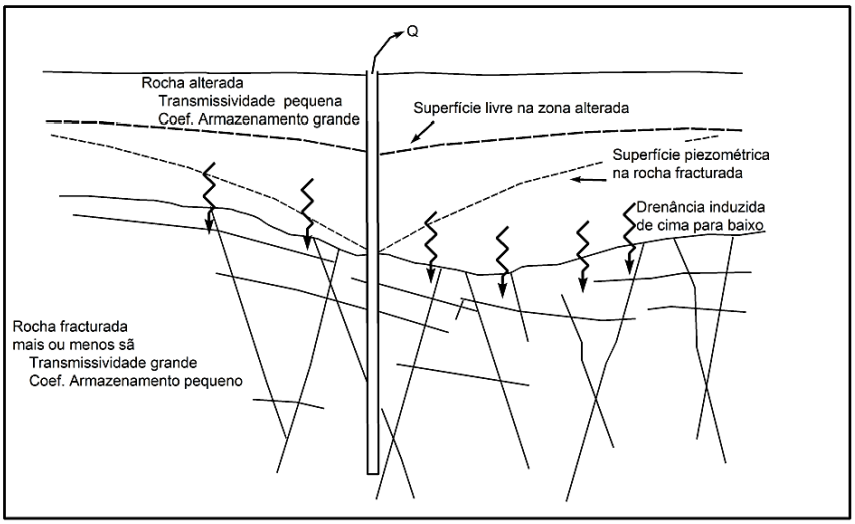


Figura 3. Drenância vertical da zona alterada para a zona fracturada, induzida por bombagem (Carvalho, 2006).

5.2. Armadilhas geológicas

A denominação de "armadilhas hidrogeológicas" passa por todas as estruturas que na óptica do hidrogeólogo prospector permitem a circulação e o armazenamento de água subterrânea: (i) espaços intergranulares em rochas não consolidadas; (ii) espaços intergranulares em arenitos, calcários e xistos; (iii) descontinuidades em rochas ígneas e metamórficas; (iv) descontinuidades em calcários; (v) juntas de arrefecimento em rochas vulcânicas efusivas; (vi) cavidades resultantes da libertação de gás em rochas vulcânicas; (vii) cavidades de dissolução em calcários; (viii) falhas e zonas de cisalhamento (Carvalho, 2006). Destas formações rochosas, as pouco permeáveis possuem geralmente baixa capacidade de armazenamento e disponibilidade de água, ocorrendo esta essencialmente nas fissuras. Neste cenário a disponibilidade é fortemente dependente do clima. Nas formações hidrogeológicas sedimentares a potencialidade de armazenamento e disponibilidade da água é maior e o reservatório tem condições de regularizar o caudal e ficar menos dependente do clima local (Tucci & Cabral, 2003).

Foi anteriormente referido que a circulação de água subterrânea em rochas cristalinas está condicionada à existência de estruturas geológicas que governem a ocorrência de funções transmissiva e capacitiva significativas que permitam a respectiva exploração economicamente viável. Tais estruturas geológicas são factores de anisotropia ou heterogeneidade geradoras de conectividade no reservatório geológico, e correspondem principalmente a falhas, zonas de cisalhamento, contactos geológicos, filões, alternâncias de rochas de deformação frágil e zonas de alteração intensa (figura 4). São essas estruturas geológicas, vastas vezes enumeradas, que o hidrogeólogo prospector procura, pois é nelas que se encontram eventuais zonas de circulação e armazenamento de água (Carvalho, 2006).

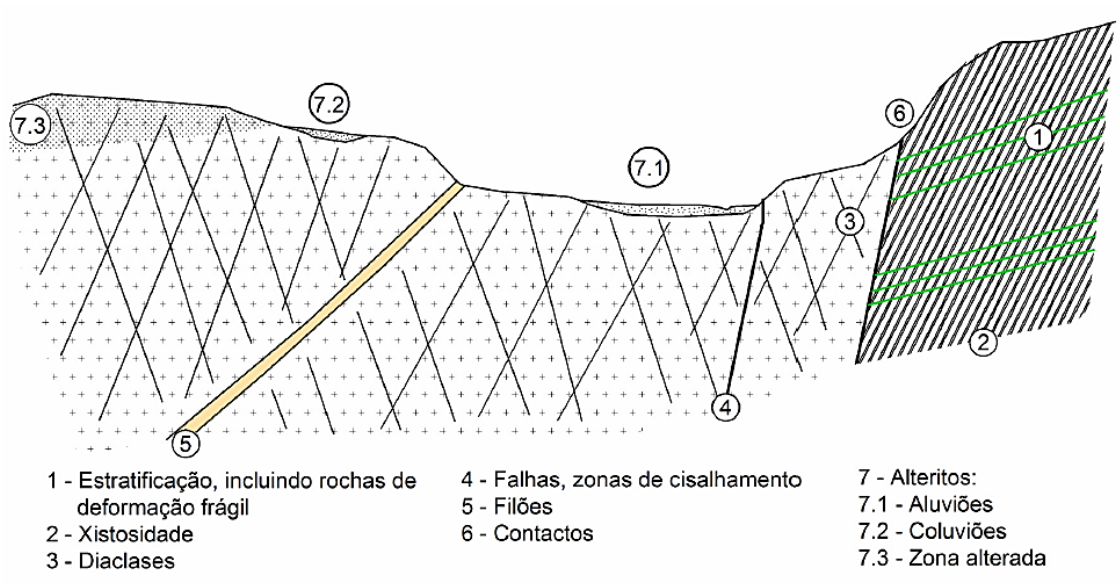


Figura 4. Armadilhas hidrogeológicas em rochas cristalinas (Carvalho, 2006).

Em síntese, as singularidades geológicas ocorrentes em meios relativamente homogéneos determinarão condições para a circulação e armazenamento de águas subterrâneas. Desta forma, deve ser tentada a avaliação qualitativa e quantitativa do potencial das diversas estruturas hidrogeológicas dentro das premissas seguintes (e.g., Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006; Vieira da Silva, 2012):

(i) **Falhas:** são, porventura, as estruturas mais citadas na bibliografia sobre a prospecção hidrogeológica em rochas cristalinas. Muitas vezes, em oposição à ideia feita de que o núcleo de uma falha é o local de maior potencial hidrogeológico de uma dada área, verifica-se, em muitas situações, exactamente o contrário. Os mecanismos de alterabilidade ditam muitas vezes a formação de uma caixa de falha argilosa que poderá funcionar como uma barreira à circulação subterrânea, nestes casos é de esperar um comportamento colector e condutor de fluxo na designada "zona de fracturação intensa" que margina o núcleo das falhas. Muitas vezes o controlo tectónico sobrepõe-se claramente a todos os outros parâmetros (topografia, contactos litológicos, filões, etc.).

Um outro importante aspecto a discriminar refere-se à análise cartográfica do padrão da fracturação, especialmente no estudo de áreas em que são evidentes nós tectónicos regionais. Falhas pouco inclinadas ou de extensas diaclases de descompressão local funcionam como colectores de água mineral natural, que cruzando fracturas e falhas sub-verticais poderá proporcionar a ascensão de água ocorrendo pontos ou frentes de emergência de água;

(ii) **Filões:** ligadas estreitamente à tectónica, as estruturas filonianas apresentam-se geralmente extremamente favoráveis. Contudo podem ter comportamentos opostos, em função da sua composição, competência, fracturação e estado de alteração. De um modo geral, os filões de quartzo e os filões "ácidos", em estado são e com fracturação assinalável, constituem condutas e colectores de água subterrânea. Os filões de composição "básica", mais susceptíveis à alteração, tendem a funcionar como barreiras, sendo determinante o grau de fracturação e alteração;

(iii) **Contactos geológicos:** são estruturas hidrogeológicas em geral muito negligenciadas, sendo paradoxalmente das mais frequentes. Quando separam maciços rochosos de permeabilidades muito diferentes funcionam como barreiras ao fluxo de água, determinando pontos ou frentes de emergência de água mineral. Evidentemente que a descoberta de um contacto por si só não chega para garantir o sucesso de uma determinada operação, torna-se necessário que o possível papel hidrogeológico de um contacto seja exaustivamente analisado, o

contraste de permeabilidades, a posição relativa quanto à direcção mais provável do fluxo subterrâneo, o grau de alteração ou tectonização e a atitude em profundidade têm de ser equacionados;

(iv) **Zonas alteradas:** a alteração é um importante factor condicionante da circulação de águas subterrâneas, especialmente em contextos graníticos, até porque está muitas vezes intimamente ligada à tectonização da rocha. Nem sempre as zonas mais alteradas correspondem a maiores produtividades, a experiência tem demonstrado que é imediatamente abaixo dos alteritos que são encontrados os caudais mais elevados. Esse nível corresponde à rocha relativamente sã com fracturas abertas, e a profundidade a que ocorre é variável.

5.3. Modelo conceptual hidrogeológico (Carvalho, 2006; Kresik & Mikszewski, 2013; Chaminé et al., 2013)

A análise da existência ou do comportamento de factores de favorabilidade nas condições de um determinado local conduz a que sejam utilizados indicadores de prospecção. São factores de favorabilidade a precipitação, a taxa de infiltração, a infiltração suposta, certas feições geomorfológicas, as armadilhas hidrogeológicas e outros elementos mais ou menos credíveis revelados por inventário hidrogeológico ou por busca bibliográfica. Indicadores de prospecção são estruturas geológicas, geomorfológicas ou outras, bem localizadas ou simplesmente inferidas por fotointerpretação, geofísica, inventários hidrogeológicos, etc. que serão o fio condutor para o lançamento dos trabalhos de pesquisa e captação.

Os indicadores de prospecção permitindo indiciar no espaço, a três dimensões, a localização de armadilhas hidrogeológicas activas, isto é, produtivas, lançam as bases, a nível do reservatório geológico, para a elaboração do modelo conceptual dos locais onde vão ser realizados furos de pesquisa e eventual captação (Carvalho, 2006).

A conceptualização, ou melhor, a cenarização de modelos conceptuais admissíveis, constitui uma prioridade absoluta, pois só nessa base será possível esquissar cenários possíveis para intervenção posterior. De uma forma genérica, o modelo conceptual deve incluir as condições (Carvalho, 2006; Kresik & Mikszewski, 2013; Chaminé et al., 2013):

(i) Forma e a quantidade como em termos médios se faz a recarga na área;

(ii) Estrutura do reservatório geológico - armadilha hidrogeológica - à escala regional e local, e no tempo: a) Configuração - contorno, dimensões (volume), natureza dos limites geológicos; b) Localização - altitude e profundidade dos limites; c) Estrutura: litologia, granulometria, fácies, deformação e fissuração, geoquímica; Génese e distribuição no tempo (litoestratigrafia);

(iii) Funcionamento interno (geologia, hidrodinâmica, hidroquímica, hidrobiologia);

(iv) Tipologia da água;

(v) Avaliação das condições de descarga, se for o caso.

No que concerne a águas minerais naturais da Categoria I, os modelos conceptuais hidrogeológicos incluem, frequentemente, circuitos hidrogeológicos longos e profundos, podendo ocorrer, fundamentalmente, dois tipos de situações (Vieira da Silva, 2012):

(i) A estrutura geológica que enquadra o sistema aquífero é perfeitamente identificável e as formações aquíferas confinadas por formações impermeáveis, desde a área de recarga até à zona de descarga do sistema hidromineral.

Nestas condições, a circulação de água mineral natural faz-se numa rede densa de fracturas com elevado grau de intercomunicação, conferindo ao sistema uma continuidade e “isotropia” (em grande) pouco comum em rochas cristalinas; enquadram-se neste modelo, alguns sistemas hidrominerais instalados em rochas quartzíticas;

(ii) O sistema aquífero está limitado a estruturas anisotrópicas notáveis, nomeadamente a corredores de fracturação ou de falha. Esta é a situação mais comum, ocorrendo frequentemente em maciços graníticos, mas também em xistos siliciosos e outras litofácies.

Nesta situação convergem para a área das emergências naturais vários sistemas de fracturas, ou falhas. Se dois ou mais destes sistemas conduzirem a áreas suficientemente amplas, em altitude, reunindo condições para funcionarem como áreas de recarga do sistema aquífero, instala-se a dúvida sobre a proveniência da água mineral natural. Em contextos especiais esta dúvida pode ser desfeita através das assinaturas isotópicas da água mineral natural (não vem ao caso aprofundar este tema). Quanto aos locais de emergência, estes encontram-se associados a singularidades geológicas, particularmente falhas e fracturas muito penetrativas correspondentes aos grandes eixos tectónicos dadas pelas evidências seguintes (Carvalho, 2006): (i) Enquadramento geomorfológico e estrutural; (ii) Grandes anomalias geoeléctricas; (iii) Caudais claramente acima dos normais nos ambientes geológicos de rochas cristalinas; (iv) Transmissividades mais altas que a dos aquíferos normais; e, (v) Temperatura (correlacionada positivamente com a transmissividade).

O modelo conceptual deve ser dinâmico, isto é, será adaptado à medida que evolui o conhecimento hidrogeológico sobre a área. É normal, que para explicar um determinado fenómeno ou situação, procure-se interpretar os dados disponíveis para que, no final, o puzzle dê certo. Infelizmente nem sempre é assim. A incerteza é grande, o risco geológico subsiste sempre, e muitas vezes ter-se-á que recomeçar construindo cenários alternativos de intervenção sobre hipóteses diferentes (Carvalho, 2006; Kresik & Mikszewski, 2013; Chaminé et al., 2013).

5.4. Metodologia de prospecção (Carvalho, 2006)

O conhecimento da geologia da área ou da região pode indicar as formações portadoras de água, assim como dar uma ideia do caudal circulante e do tipo de água a ser obtida. Por sua vez, o estudo da geologia estrutural tornará possível fazer uma adequada escolha do local da perfuração, bem como fornecerá os elementos básicos para as sondagens de pesquisa a realizar, como método de perfuração, profundidades a alcançar, diâmetros de perfuração, a espessura estimada do aquífero de água mineral, e o tipo de formações a intersectar durante a fase de perfuração (*e.g.*, Carvalho, 1973, 1984; Capucci et al., 2001; Bisson & Leher, 2004; Carvalho, 2006; Graça, 2012).

A prática da prospecção pressupõe a realização de dois níveis de investigação: (i) o nível estratégico em que se procura conhecer os condicionalismos da oferta (em termo de recursos hidrogeológicos) à escala regional e (ii) o nível táctico, de caracter local, onde se procura esclarecer os problemas da zona de descarga (no caso de haver descargas naturais do sistema) ou das condições locais de circulação. A prospecção estratégica, de malha larga, faz sentido sempre que o objectivo é a captação de água para fins públicos, para o abastecimento de grandes propriedades agrícolas, na indústria do termalismo e da água engarrafada ou outros grandes consumidores. Para abastecimentos locais de pequena dimensão apenas se usam intervenções tácticas, que, em casos limite, englobam um simples furo de pesquisa e eventual captação com profundidade e dimensionamento caracterizados pelo estudo hidrogeológico (a nível de estudo prévio). Mas mesmo nestes estudos à escala local há que conhecer os parâmetros condicionadores à escala regional (Carvalho, 2006).

Para o sucesso do estudo de recursos hídricos subterrâneos é de extrema importância a integração coerente de todos os elementos geológicos obtidos a distintas escalas, como dados de geologia e geomorfologia regional, de fotogeologia, de litotectónica, e do estudo da

compartimentação do maciço em termos do grau de fracturação e de alteração. Deve-se, na medida do possível, cruzar e sintetizar toda esta informação a escala(s) conveniente(s) e, assim, representá-la em mapas temáticos georreferenciados, se possível sobrepostos para fácil análise comparada. No caso de persistirem dúvidas, pode-se recorrer a investigações de sub-superfície através de levantamentos geofísicos, dado que através deles se visualiza e refina com maior objectividade os indicadores de prospecção definidos no modelo conceptual a partir de critérios hidrogeológicos, perspectivando obter maior confiança e acerto no modelo conceptual proposto e na posterior localização dos furos de pesquisa e possível captação (Carvalho, 2006).

Em suma, as investigações geralmente consideradas podem ser sistematizadas compreendendo a metodologia exposta em seguida (Carvalho, 2006):

(i) Avaliação dos aspectos económicos e sociais para caracterização da procura;
(ii) Visita inicial ao terreno;
(iii) Pesquisa, consulta e compilação de informação técnico-científica em arquivos e bases de dados bem como a leitura de conteúdos e interpretações anteriores, reanálise ou reaproveitamento dos dados;
(iv) Consulta de cartas geológicas, geomorfológicas, estruturais e de lineamentos (de grande escala) que se encontrem disponíveis;
(v) Fotointerpretação geológica, a escalas intermédias;
(vi) Preparação de mapas e outras bases para trabalhos de campo com lançamento de todos os dados de presumível interesse;
(vii) Trabalhos de campo: reconhecimentos geológicos e estruturais, inventário de pontos de água, eventuais trabalhos de cartografia, estudos estruturais, incluindo a observação, classificação e descrição de fracturas e falhas a diferentes escalas, e colheita de amostras para análises químicas;
(viii) Prospecção geofísica;
(ix) Análise integrada de toda a informação e resultados obtidos, particularmente os de natureza geológica, estrutural, hidrogeológica e geofísica;
(x) Localização dos furos de pesquisa e captação.

Findas as etapas evidenciadas, que culminam no esboço do modelo conceptual envolvendo os eventuais aquíferos ocorrentes, estarão concebidos os tramites para o lançamento do Plano de Pesquisa (Carvalho, 2006). Embora a prospecção apresente hoje em dia um conjunto de metodologias sistematizadas, deve-se ter em atenção que nenhum programa de prospecção oferece garantia plena de sucesso na implantação de uma sondagem de pesquisa e eventual captação. Todavia, é certo que contribui para reduzir o risco de insucesso, e por consequência, o risco do investimento (Carvalho, 2006; Vieira da Silva, 2012). A boa definição de modelos geológico-estruturais e hidrogeológicos, já permitiu, nalgumas concessões, a captação de água mineral natural em locais muito afastados das emergências tradicionais, somando novos recursos aos existentes e contribuindo para a afirmação e valorização dos trabalhos de prospecção (Vieira da Silva, 2012).

5.5. Técnicas de prospecção (Assaad et al., 2004; Bisson & Leher, 2004; Carvalho, 2006)

O desenvolvimento do estudo prospectivo de água subterrânea abarca várias técnicas para recolher, tratar, cruzar, sintetizar e expor informação, objectivando o esboço do modelo conceptual e o seu progressivo refinamento à medida que os trabalhos de prospecção avançam. Aqui será exposta a importância de algumas das técnicas mais relevantes para a prospecção em rocha cristalina, de entre as quais, o reconhecimento, inventário hidrogeológico, topografia, cartografia hidrogeológica, estudos hidrogeomorfológicos, fotografia aérea e detecção remota, e

prospecção hidrogeofísica (*e.g.*, Assaad et al., 2004; Bisson & Leher, 2004; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 1973, 1984, 2006).

5.5.1. Reconhecimento (Carvalho, 2006)

O reconhecimento é o conjunto de actividades a desenvolver antes de se avançar para os trabalhos de prospecção propriamente ditos. Visam obter o maior conhecimento hidrogeológico e geofísico do local a fim de garantir com sucesso os trabalhos consecutivos (Cruz, 2002). Este estudo deve ser iniciado através da utilização de dados geológicos publicados e de possíveis poços cadastrados na área de interesse, complementando-se posteriormente por um reconhecimento geológico de campo (Capucci et al., 2001).

Tenha-se em atenção que a investigação bibliográfica, especialmente referências sobre a região em estudo, é tarefa relevante nesta fase inicial. É fundamental, também, o registo de todas as fontes orais de conhecedores dos locais em estudo, tais como pastores, vigários e outras personalidades da região. Fazer bem o trabalho de casa antes de avançar para o campo é indispensável (Carvalho, 2006). Os trabalhos de reconhecimento deverão abarcar um estudo da geologia regional da área escolhida, devendo seguir-se um estudo cada vez mais refinado, ou seja, passar-se para um estudo local. Em rochas cristalinas, os aquíferos encontram-se interligados com o sistema de fracturação do maciço, desta forma deverá ser feito um estudo geológico-estrutural minucioso, por forma a se definirem os vários sistemas de fracturação responsáveis pela circulação da água mineral natural.

O estudo hidrogeomorfológico da região é uma outra ferramenta essencial, pois para além de poder fornecer informações morfotectónicas e geológico-estruturais importantes, bem como o conhecimento da rede hidrográfica, também contribui para uma importante visão regional e local. O estudo hidrológico da região é um outro mecanismo importante do reconhecimento, pois os dados da precipitação, da evapotranspiração, da escorrência e da infiltração transmitem informação muito importante do estudo das águas subterrâneas de uma determinada região (Teixeira, 2011; Teixeira et al., 2013).

Enfim, com tudo o que foi anteriormente referido, poder-se-á dizer que deverá ser feito um estudo hidrogeológico de âmbito regional e local, que contemple o máximo de informação disponível. Este estudo hidrogeológico deverá avançar para a elaboração de um modelo conceptual de funcionamento do sistema aquífero, nomeadamente o sistema hidrogeológico, objecto dos futuros trabalhos de prospecção e pesquisa. A fase de reconhecimento deverá terminar por perspectivar a execução de trabalhos de prospecção localizados (Carvalho, 2006).

5.5.2. Inventário hidrogeológico (Carvalho, 2006; Chaminé et al., 2013)

O levantamento dos pontos de água da região onde se pretende fazer o reconhecimento é um outro modo de fazer o estudo das águas subterrâneas de uma determinada área. Dever-se-á fazer uma caracterização a mais pormenorizada possível a nível hidrodinâmico das características físico-químicas dessas águas. Habitualmente o inventário hidrogeológico abarca a implantação de pontos de água com indicação dos caudais e níveis piezométricos e a realização de análises físico-químicas expeditas de campo de, pelo menos, a medição sistemática do pH, de condutividade eléctrica e da temperatura, que permitem uma caracterização inicial sucinta dos principais tipos de circulação subterrânea bem como a previsão da qualidade da água. O inventário hidrogeológico, só por si, pode determinar decisões definitivas. Um simples mapa de isocondutividades da água dos poços inventariados pode confirmar fontes de contaminação

permanente que condicionem a localização de uma captação (Carvalho, 2006; Chaminé et al., 2013).

5.5.3. Topografia (Carvalho, 2006; Teixeira et al., 2013)

As investigações hidrogeológicas exigem a utilização de uma boa carta topográfica. Para investigações estratégicas em Portugal é vulgar usar-se a cartografia à escala 1/25.000 do Instituto Geográfico do Exército ou ampliações desta à escala 1/10.000. Investigações tácticas à escala local obrigam à realização de levantamentos topográficos específicos, se possíveis ligados à Rede Geodésica Nacional. Escalas de trabalho da ordem de 1/1.000 a 1/2.000 são geralmente suficientes mas pode haver necessidade de bases mais pormenorizadas. Uma base topográfica adequada é indispensável pois será sobre ela que camadas sucessivas de informação cartográfica serão lançadas posteriormente (Carvalho, 2006; Teixeira et al., 2013).

5.5.4. Cartografia hidrogeológica (Carvalho, 2006; Carvalho & Chaminé, 2014; Chaminé et al., 2013)

Não há prospecção e pesquisa de águas subterrâneas sem uma carta geológica. É necessário, portanto, lançar mão de estudos de geologia regional e, se inexistentes, realizar estudos de cartografia de carácter local. Na caracterização e descrição geológica pormenorizada das áreas recorre-se, em regra, às técnicas básicas da geologia de campo, da geologia estrutural e da hidrogeologia aplicada. É essencial interpretar as unidades geológicas e geomorfológicas em termos de hidráulica subterrânea, por isso há que descodificar as unidades geológicas e tentar transformá-las em unidades hidrogeológicas, o que nem sempre é possível com os meios disponíveis. Em hidrogeologia de rochas cristalinas em que o que se procura é a singularidade e o excepcional, cartografar a escalas de pormenor pode fazer a diferença.

Em certos casos, na ausência de critérios hidrogeológicos é recomendável recorrer-se a outras técnicas como as utilizadas correntemente nas geociências de engenharia de maciços rochosos e terrosos. O mapeamento do grau de fracturação e de alteração usando critérios da geologia aplicada e da hidrogeologia (ISRM, 1978, 1981; GSE, 1995; Struckmeier & Margat, 1995; CFCFF, 1996; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006; Chaminé et al., 2013; Teixeira et al., 2013), servem para uniformizar a caracterização da amostragem e, em afloramento, para definir blocos ajudando assim a delinear estruturas hidrogeológicas produtivas. Esta metodologia obriga o hidrogeólogo prospector a fixar-se no terreno, a ser sistemático e, assim, produzir mapas hidrogeológicos baseado em critérios qualitativos e quantitativos. Contudo, exige a existência de bons afloramentos para a caracterização dos maciços (Carvalho, 2006).

5.5.5. Fotografia aérea e detecção remota (Carvalho, 2006)

A fotografia aérea estereoscópica e, mais modernamente, as técnicas de detecção remota, são consideradas auxiliares valiosas nos problemas de prospecção de água. A fotografia aérea, essencial sobretudo nos estudos de circulação de água subterrânea em meio fissurado, permite a detecção dos aspectos seguintes: (i) indicadores de primeira ordem, isto é, directos: rios, canais, lagos, nascentes, poços; e, (ii) indicadores de segunda ordem, isto é, indirectos: topografia, geomorfologia, zonas alteradas, litologia e contactos geológicos, direcção e características das estrutura geológica, lineamentos tectónicos, fracturas e diaclases, falhas e zonas de cisalhamento,

tipos de solo, humidade do solo, vegetação, rede padrão de drenagem e ainda estruturas geológicas específicas como filões ou diques, depósitos aluvionares, etc., permitindo inferir as condições de sub-superfície (e.g., Carvalho, 1973, 1984; Lloyd, 1999; Custodio & Llamas, 2001; Capucci et al., 2001; Assaad et al., 2004; Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006).

5.5.6. Prospecção hidrogeofísica (Carvalho, 2006)

A prospecção geofísica é uma ferramenta aplicada à geologia com uma capacidade muito maior para confirmar ou refutar hipóteses do que para estabelecê-las. Daí a necessidade imperativa da existência de modelos conceptuais geológicos e hidrogeológicos prévios (suportados pelos factores de favorabilidade e indicadores de prospecção usados, que indiquem à geofísica os alvos a prospectar) (Carvalho, 2006).

A localização no espaço e a três dimensões de estruturas hidrogeológicas donde é possível extrair água subterrânea de forma económica, beneficia da realização de prospecção geofísica, que visa (Carvalho, 2006):

(i) Confirmar ou infirmar o modelo hidrogeológico sugerido por estudos anteriormente realizados (levantamentos geológicos e hidrogeológicos, estudos de fracturação com ou sem fotointerpretação, etc.);

(ii) Localizar e delimitar no terreno a posição das estruturas geológicas (falhas, filões, corpos geológicos muito alterados, etc.) que se procuravam ou outras inferidas pelos próprios resultados dos levantamentos geofísicos. Ou seja, procurará confirmar resultados de indicadores de prospecção anteriormente usados e vai constituir-se, ela própria, como novo indicador de prospecção num processo iterativo;

(iii) Se possível, antecipar indicadores da qualidade da água a captar e obter informação sobre a ocorrência e distribuição espacial de água mineral muito mineralizada.

Uma campanha de prospecção geofísica deve ser eficaz aos níveis da realização dos trabalhos de campo e da interpretação. A profundidade de investigação dos métodos geofísicos deve ser, tanto quanto possível, semelhante à dos furos de pesquisa e eventual captação que se tem em mente realizar. Para minimizar o risco de insucesso haverá que deitar mão a ferramentas de prospecção com maior penetração e, eventualmente, com melhor resolução, agregando métodos geofísicos de sísmica de reflexão de alta definição e de sísmica de refracção nos horizontes superiores, associados a tomografias eléctricas de grande penetração. Actualmente, os actuais preços baixos dos furos de pesquisa e captação, na sequência do advento do método de perfuração com martelo de fundo de furo, tem retirado algum espaço a métodos indirectos como a geofísica e mesmo à prospecção hidrogeológica no geral. O que tem diminuído a oportunidade técnico-económica da realização de prospecção geofísica (Carvalho, 2006).

5.6. Metodologia de prospecção hidrogeológica: maciço antigo Português (Carvalho, 2006)

A prospecção hidrogeológica para formações cristalinas em Portugal Continental deve obedecer, segundo linhas gerais, ao estudo hidrológico e geológico da área em análise.

O estudo hidrológico adequado permitirá idealizar a disponibilidade, fluxo hídrico, piezometria e qualidade da água da região, o que abarca o conhecimento (Carvalho, 2006):

(i) Hidrometeorológico, incluindo a pluviosidade, evapotranspiração real, escoamento total e infiltração, incluindo a quantidade e distribuição ao longo do ano. O mapa deve ser acompanhado por um esboço numa escala reduzida de um mapa da região com as respectivas curvas (isoietas).

(ii) Hidrogeomorfológico, abrangendo: o modelado do relevo, definindo zonas de aplanação, de pouca inclinação e zonas de forte ravinamento; o traçado da rede hidrográfica com indicação

da sua densidade, dos cursos de água de regime permanente e temporário e nestes os que podem ter subescoamento; a delimitação das várias bacias de drenagem, estudando em cada uma delas a área, extensão e profundidade da alteração das formações, cobertura vegetal e inclinação da bacia; e a extensão e espessura dos depósitos de vertente. Estes depósitos têm por vezes apreciáveis reservas de água.

(iii) Hidrodinâmico, através da Implantação dos pontos de água – nascentes, poços, furos, minas, etc. – com indicação dos caudais, níveis piezométricos, temperatura, pH e condutividade da água em estiagem e no Inverno, e zonas de recarga e descarga.

Quanto ao estudo geológico, que permitirá caracterizar o reservatório, ou seja, as estruturas favoráveis ao armazenamento e circulação de água, preconiza o levantamento à escala regional e local normalmente através da recolha de documentação vária e de um aturado conhecimento de terreno, a saber (*e.g*., Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 1984, 2006):

(i) Análise documental de mapas geológico-estruturais e geomorfológicos, a escalas várias, do Maciço;

(ii) Interpretação fotogeológica de megaestruturas com base em imagens de satélite;

(iii) Análise morfoestrutural compreendendo escarpas ou taludes, blocos basculhados ou elevados, vales rectilíneos, padrão da rede hidrográfica adaptada, etc..

(iv) Análise tectónica compreendendo fracturas, contactos tectonizados, faixas de alteração, zonas de cisalhamento, dobramentos, direcções de foliação, xistosidade, e estudo estatístico das diaclases determinando as suas orientações preferenciais e determinação da densidade de fracturas por unidade de superfície;

(v) Os levantamentos em iii e iv devem ser baseados nos levantamentos topográficos e na fotografia aérea (a escalas aproximadas 1/25.000 e 1/10.000) do Instituto Geográfico do Exército (IGeoE);

(vi) Execução de um levantamento geológico de pormenor, a escala conveniente (e.g., 1/500 a 1/5.000), por forma a inferir os aspectos demarcados nas fases anteriores. Sempre que possível, a fotografia aérea deve servir de base a este estudo que será completado com trabalhos de campo.

Assim, numa primeira fase recorre-se à caracterização do local através de critérios topográficos, tectónicos e morfoestruturais e, numa segunda fase, faz-se a sua caracterização através de critérios geológicos e tectónicos. Esta abordagem tem como objectivo central a elaboração, caso não exista, de um mapa geológico-estrutural sintético da região em estudo que, por fim, culminará com a execução de um mapa hidrogeológico local reflectindo, necessariamente, um modelo conceptual assumido.

Definido um modelo geológico e tectónico para uma dada região, o passo seguinte consiste no reconhecimento e posicionamento das estruturas hidrogeológicas que se suspeita condicionarem a circulação hídrica subterrânea. Reside aqui, aliás, a grande diferença, em termos de metodologia utilizada, entre a prospecção de rochas compactas fissuradas e de rochas com permeabilidade de interstícios. Na última, em geral, as estruturas condicionantes apresentam desenvolvimento espacial considerável, não sendo grande problema a sua detecção. Por outro lado, nas rochas compactas fissuradas, a zona de influência de estruturas hidrogeológicas favoráveis exibe, normalmente, dimensão muito reduzida, da ordem da dezena de metros ou menos, embora ocasionalmente possam atingir extensões de grandeza quilométrica. É este particular comportamento espacial das estruturas hidrogeológicas em rochas cristalinas que obriga a que tanta ênfase seja dada à sua detecção. De facto, definida ou inferida a existência de uma determinada estrutura hidrogeológica, é muitas vezes recomendável o recurso a meios de prospecção geofísica (especialmente métodos geoeléctricos, electromagnéticos e sísmicos) que permitam: i) localizar com um máximo de precisão a estrutura procurada e definir a sua geometria em profundidade; ii) antecipar o comportamento hidrogeológico da estrutura e rochas

encaixantes, iii) detectar, eventualmente, outras estruturas hidrogeológicas. O necessário estudo integrador da informação hidrogeológica, geomorfológica, geotectónica e geofísica permitirá, então, decidir da realização, ou não, de trabalhos adicionais de pesquisa directa com sondagens (Carvalho, 2006).

6. Pesquisa (Carvalho, 2006)

Após a delineação do modelo conceptual segue-se a fase de pesquisa, que envolve a execução de sondagens mecânicas com o intuito de se obter um conhecimento mais detalhado do modelo hidrogeológico conceptual local, elaborar um projecto de captação mais detalhado e rigoroso, assim como aferir a localização e profundidade mais adequada da captação definitiva.

O plano de pesquisa, quase sempre Plano de Pesquisa e Captação, inclui descrição dos objectivos a alcançar, dos métodos e equipamentos a utilizar, dos prazos e dos custos. Sem esquecer a incerteza associada, que poderá invocar ajustes ao plano durante a sua execução, sendo por isso prudente conferir-lhe alguma versatilidade e a prossecução segundo algumas recomendações que se expõe em seguida (Carvalho, 2006):

(i) Nunca fazer promessas extravagantes e alternativamente tentar passar a mensagem de que nesta actividade há sempre incerteza;
(ii) Para fazer previsões usar sempre os valores medianos e não as médias;
(iii) Localizar e orçamentar sempre mais que um furo de pesquisa;
(iv) Realizar os furos de pesquisa e captação sobre lineamentos tectónicos foto-interpretados e sobre descontinuidades identificadas com cartografia geológica ou geofísica estando consciente que essas fracturas nem sempre são transmissivas e podem estar preenchidas com materiais argilosos;
(v) Usar técnicas de mapeamento local da fracturação e sondas capazes de fazerem furos inclinados e horizontais e do tipo combinado (martelo de fundo de furo e “rotary” a ar ou com lamas bentoníticas).

6.1. Critérios de implantação (Carvalho, 2006)

Um momento difícil para o hidrogeólogo prospector é o da selecção do tipo de pesquisa e/ou captação e respectiva implantação (decisões altamente dependentes do modelo conceptual) que deve permitir uma precisão na implantação do local de furação da ordem dos 5 m.

Genericamente, uma descrição dos factores que condicionam a localização de furos de pesquisa e eventual captação inclui, pelo menos (Carvalho, 2006): (i) Tipologia das necessidades: quantidades, distribuição no espaço e no tempo; (ii) Acessos; (iii) Disponibilidade de água para a perfuração; (iv) Existência de condutas, depósitos de distribuição e electricidade; (v) Ordenamento do espaço superficial e subterrâneo existente e previsto; (vi) Características hidrogeológicas (Incerteza): caudal por captação isolada e caudal seguro do aquífero; (vii) Recarga e contaminação, vulnerabilidade e risco; (viii) Riscos induzidos; (ix) Impactes qualitativos e quantitativos; (x) Interferências com outras captações; e, (xi) Aceitabilidade pela comunidade local. A estes condicionalismos há que acrescentar os que os órgãos de gestão dos recursos (actualmente a Agência Portuguesa do Ambiente para as águas “normais” e a Direcção Geral de Energia e Geologia para águas minerais naturais, de nascente e recursos geotérmicos) entendam impor.

Na pesquisa e captação de águas minerais a apuração dos locais para a sondagem deve ser precedida de uma análise criteriosa do comportamento hidrogeológico das descontinuidades e a sua implicação na quantidade e qualidade da água, das características de vulnerabilidade e risco,

e das dificuldades de perfuração. Segundo tal, sobre o mapa hidrogeológico da zona de descarga seleccionam-se alguns locais favoráveis à implantação das sondagens de pesquisa, ordenados de acordo com as expectativas de captação dos locais considerados de interesse. Na selecção devem privilegiar-se as seguintes estruturas e particularidades geológicas (*e.g.*, Carvalho & Chaminé, 2004; Carvalho, 2006):

(i) Falhas e fracturas de grande extensão, privilegiando as zonas de maior fracturação e menor alteração pelítica ("zonas de fracturação intensa"). As fracturas menores, que muitas vezes se identificam na proximidade das emergências, condicionam a circulação local de água mineral natural, mas não são relevantes, porque o que se pretende é intersectar as estruturas de ascensão, a maior profundidade;

(ii) Orientação favorável das falhas e fracturas, face ao campo de tensões actual; são mais interessantes as estruturas que guardam maiores ângulos com a direcção de tracção, ou com o tensor de compressão mínima;

(iii) Locais de intersecção de falhas e grandes fracturas sub-verticais;

(iv) Filões competentes e fracturados, ou zonas de encosto a filões- barreira;

(v) Contactos geológicos do tipo tectónico;

(vi) Falhas de caixa larga, bem definidas em profundidade. Contudo deve-se ter em atenção que em falhas com núcleo argiloso podem ocorrer grandes bolsas de água mineral natural, resultantes de processos de acumulação milenares, aparentemente interessantes, mas que o não são, porque a alimentação profunda é insuficiente; noutros casos, correspondentes a falhas compressivas e em estruturas tectónicas sem movimentação aparente actual, a porosidade e permeabilidade são muito baixas porque não há descontinuidades circuladas.

(vii) Locais de cota topográfica mais baixa de entre as zonas do traço cartográfico das estruturas fracturadas;

(viii) Zonas de maior espessura de rocha-de-cobertura ("cape-rock") pouco permeável sobre as zonas fracturadas. As zonas mais fracturadas, logo, tendencialmente, mais produtivas, são analogamente as zonas de maior vulnerabilidade e risco de contaminação;

(ix) Relação espacial favorável relativamente a aquíferos não-minerais.

Uma norma genérica que pode ser retida é a de que a zona captante de uma nova obra de captação de águas minerais em rochas cristalinas deve ser implantada a distância suficiente da nascente tradicional para evitar interferências, sem que o risco de insucesso cresça excessivamente. Consegue-se, assim, diminuir as interferências da nova captação com a primitiva nascente, geralmente muito vulnerável à contaminação. Outra vantagem que se consegue, particularmente se a nova captação for realizada em profundidade, é a do fomento de um "cap-rock" de rocha não fissurada que diminui a vulnerabilidade do sítio. O melhor compromisso para a implantação de uma captação sobre uma estrutura reconhecidamente produtiva do tipo falha (ou filão) obriga a um bom conhecimento da geometria do maciço, eventualmente resultante de furos de pesquisa prévios. Em casos específicos podem mesmo ser necessários furos de prospecção (Carvalho, 2006).

Para locais com o mesmo potencial de captação, devem privilegiar-se os que melhor se enquadrem com a localização dos pontos de utilização e que envolvam menores custos energéticos na elevação da água até aos depósitos de abastecimento, entre outros factores. Resulta óbvio, que o sucesso de um programa de prospecção, pesquisa e captação de Água Mineral Natural ou de Água de Nascente pode ficar definitivamente comprometido se a implantação das sondagens mecânicas não for correcta (Vieira da Silva, 2012).

6.2. Projecto de pesquisa e captação (Carvalho, 2006)

Para além da localização da captação, há que realizar o projecto dos trabalhos de pesquisa e eventual captação (este último será esmiuçado mais adiante no tópico Captações) em termos de profundidades de perfuração, diâmetros de furação, profundidade espectável do aquífero de água mineral ou de água de nascente, profundidades e extensões dos isolamentos e cimentações, entre outros aspectos. Este projecto é condicionado pelas características litológicas, estruturais, hidrodinâmicas e hidroquímicas previstas. Assim, a previsão do tipo de captação, do respectivo acompanhamento hidrogeológico e dos ensaios de caudal a realizar, passa pela precisão do modelo hidrogeológico conseguido.

A obra de pesquisa e eventual captação mais difundida é o designado furo de água, que corresponde a obras de profundidade (ou comprimento) elevada e pequeno diâmetro (de grandeza decimétrica). As profundidades alcançadas são em geral inferiores a 100 m, mas já foram alcançadas profundidades da ordem de 500 m em projectos ligados à pesquisa e captação de águas minerais. Quando se trata de projectos de maior exigência, isto é, abastecimento a pequenas indústrias e pequenos aglomerados populacionais, há que perspectivar dimensionamentos mais sofisticados e o recurso a furos inclinados com o método de martelo de fundo de furo ou mesmo a carotagem contínua, em casos especiais, quando se requer apertado controlo hidrogeológico.

Os furos inclinados podem constituir excelente solução: (i) quando há dúvidas quanto ao andamento espacial de estruturas sub-verticais; e, (ii) quando o objectivo geológico a alcançar está fisicamente inacessível pela existência de construções ou outras barreiras.

Os furos horizontais podem apresentar vantagens em encosta, visto que o funcionamento hidráulico de um furo vertical é deficiente neste caso (só há fluxo praticamente de um lado), mas a sua utilização tem-se revelado geralmente desastrosa pois são deixados sem qualquer tamponamento o que provoca o rápido esgotamento dos recursos até à cota de implantação.

Embora se tenha dado enfase ao furo de água, deve-se ter em atenção que podem ser realizadas outras captações para além do furo vertical, inclinado ou horizontal, a saber: arranjos de nascente, galerias ou minas (hoje quase inteiramente substituídas pelos furos horizontais), poços, drenos horizontais, charcas ou chavancos e as obras mistas que a sua imaginação conceber. A obra de captação deve ser a que melhor se adapte ao modelo hidrogeológico e ao tipo de procura, considerando o critério de obtenção da água ao mais baixo custo possível para um tempo de vida da ordem de 30 anos (Carvalho, 2006).

6.2.1. Directrizes para a construção de furos de pesquisa e eventual captação (Ferreira et al., 2012)

Qualquer furo para pesquisa e eventual captação de águas subterrâneas tem que obedecer a algumas exigências construtivas a que a legislação obriga (Decreto-Lei nº 226-A/2007, de 31 de maio), nomeadamente a de que as águas subterrâneas não sejam contaminadas por águas superficiais ou por quaisquer elementos que existam na zona onde o furo está a ser aberto (fertilizantes, produtos fitofarmacêuticos, descargas de efluentes de origem humana ou animal, descargas industriais, lubrificantes, combustíveis, etc.). Do incumprimento desta obrigação legal, além do mal maior que constitui a degradação da qualidade de um recurso hídrico, pode resultar, por parte das entidades competentes para o efeito, no levantamento de processos de contra-ordenação bastante gravosos ou mesmo na inutilização compulsiva da captação com selagem. Se a captação de água se destina ao consumo humano deve ser garantido que o material utilizado na

perfuração não provoca alterações na qualidade microbiológica ou química da água (Ferreira et al., 2012).

O furo de pesquisa pode ser executado com um diâmetro de perfuração reduzido, o que tem a vantagem de, sendo mais económico, permitir conhecer as reais potencialidades da possível captação futura com um menor investimento financeiro. Contudo, quando se preconiza a eventual transformação do furo de pesquisa em captação, sendo esta de pequeno diâmetro, o furo de pesquisa é muitas vezes realizado com o diâmetro final previsto para a captação, visto que os actuais preços reduzidos imputados à perfuração tornam a realização do processo em duas fases (pesquisa com diâmetro reduzido e posterior alargamento para o diâmetro de captação) antieconómica.

Se o método de perfuração utilizado for o do martelo de fundo de furo é possível durante as operações ter-se uma ideia muito aproximada dos caudais das diversas unidades aquíferas ou níveis produtivos que vão sendo atravessados. Ao invés, se o processo for o de circulação com lamas, essa percepção correcta só é possível com a execução de diagrafias ou com testes de caudal posteriores. No entanto um técnico com experiência no exame e classificação de amostras, tendo em conta informações do sondador, pode dar uma ideia preliminar da produtividade do furo e prestar informações úteis para o projecto de transformação do furo de pesquisa em captação.

Caso esta pesquisa não forneça resultados compatíveis com as intenções, então os trabalhos terminam com a selagem da sondagem, havendo menores perdas financeiras. Se a pesquisa evidenciar que a futura captação atinge os objectivos desejados, quer em quantidade, quer em qualidade da água, o diâmetro da perfuração deverá ser alargado convenientemente, desta vez com a certeza de que o investimento será mais seguro, pois os riscos de insucesso foram em grande parte eliminados. A realização do furo de pesquisa constitui uma opção que deverá avaliar o binómio custo/risco e permitir enveredar pelas decisões ajustadas e mais económicas tendo em vista um risco razoável para atingir os fins desejados (Ferreira et al., 2012).

6.3. Perfuração (Graça, 2012)

Existem dois processos de perfuração em termos de tipo de amostragem, a perfuração destrutiva e a perfuração não destrutiva.

A perfuração destrutiva consiste na fragmentação das formações intersectadas no percurso linear de uma ferramenta de corte e na ascensão dos materiais fragmentados até à superfície com recurso a um fluido de transporte responsável pela limpeza contínua dos resíduos, permitindo o avanço da perfuração com a aplicação da ferramenta de corte sobre uma nova superfície fresca do maciço rochoso. Este método resulta assim da perfuração e transporte do material fragmentado, procurando-se manter durante todo o processo a estabilidade das paredes do furo.

Na perfuração não destrutiva, o material rochoso é cortado por uma peça de corte cilíndrica, obtendo-se uma amostra com formato também cilíndrico (tarolo), recolhida num amostrador associado à ferramenta de corte.

Em ambos os métodos de perfuração, destrutiva e não destrutiva, à excepção da perfuração por percussão, o dispositivo de corte é introduzido no terreno acoplado a um trem de varas que rodam concentricamente. A rotação das varas e da ferramenta de corte é garantida por um mecanismo instalado à superfície do terreno designado por sonda de perfuração. A perfuração destrutiva é o método mais utilizado na execução de furos de pesquisa e eventual captação, sendo o sistema de perfuração não destrutiva, com amostrador, reservado para situações específicas relacionadas com sondagens de prospecção e/ou instalação de piezómetros, ainda na

fase do estudo hidrogeológico inicial em que, por vezes, se torna essencial uma amostragem quase integral das formações (Graça, 2012).

6.3.1. Perfuração não destrutiva (Graça, 2012)

O método mais utilizado neste tipo de perfuração à rotação, em sondagens de prospecção de água subterrânea, é o método "wireline". O método consiste na perfuração com elevada rotação recorrendo à utilização de coroas cilíndricas diamantadas ou de prismas de tungsténio, que se encontram inseridas na base de um amostrador cilíndrico de paredes duplas. Durante a perfuração o segmento perfurado do maciço, com forma cilíndrica, vai entrando para o interior da coroa e do amostrador até preencher o comprimento total do amostrador. Quando o amostrador se encontra cheio procede-se à recolha do amostrador para a superfície pelo interior das varas, içando-o através de num cabo de aço. Após a extracção da amostra do interior do amostrador, este é de novo introduzido no interior das varas e descido até à posição inicial no fundo do furo, sendo retomada a perfuração. A figura 5 ilustra as fases de avanço expostas (Graça, 2012).

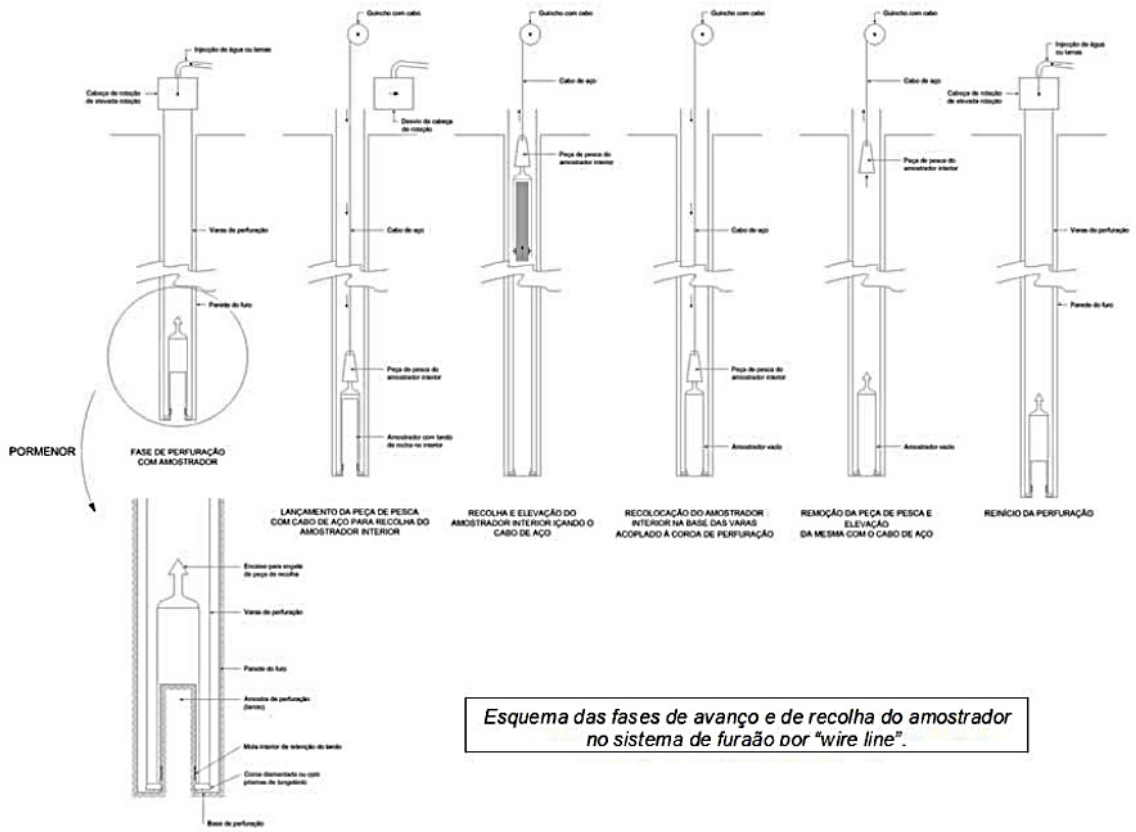


Figura 5. Fases de avanço e de recolha do amostrador no sistema de furação por "wire line" (Graça, 2012).

Este método de perfuração permite uma amostragem quase integral dos maciços rochosos, tendo particular interesse no estudo litológico e estrutural das formações onde se insere o aquífero a captar. No entanto, apenas é aplicável a maciços rochosos medianamente alterados a sãos, sendo inviável em solos ou maciços rochosos muito alterados a decompostos, e apresenta diâmetros de furação reduzidos. Contudo possibilita a instalação de piezómetros após a conclusão da sondagem de prospecção (Graça, 2012).

6.3.2. Métodos de perfuração destrutiva

Existem vários métodos de perfuração destrutiva para a pesquisa e eventual captação de águas subterrâneas. A selecção do melhor método depende da finalidade, da profundidade que se pretende atingir, das formações geológicas a perfurar e de factores económicos. Os métodos de perfuração destrutiva utilizados no nosso país para a realização de furos de captação de água são (e.g., Carvalho, 1973, 1984, 2006; Custodio & Llamas, 1981; Driscoll, 1986; Sterrett, 2007; González de Vallejo & Ferrer, 2011; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012): i) Percussão (actualmente em desuso); ii) Rotação: simples ou múltipla (com tricone); iii) Percussão pneumática com "martelo de fundo de furo".

6.3.2.1. Perfuração por percussão mecânica

O princípio do método consiste em elevar e deixar cair em queda livre alternadamente um pesado conjunto de ferramentas (porta-cabos, percussores, haste e trépano) que está suspenso por um cabo de aço montado num tambor, sendo o cabo accionado por meio de um balancim. A ferramenta cortante, trépano, ao cair em queda livre rompe e esmaga o material rochoso, triturando-o em pequenos fragmentos ou, quando opera em rochas brandas não consolidadas, amolece o material. Concomitantemente à queda livre, a ferramenta gira sobre o seu próprio eixo (devido ao enrolamento do cabo de aço num único sentido), proporcionando um furo circular.

A acção de vai e vem das ferramentas mistura os detritos de perfuração com água, formando uma lama que é retirada a intervalos do fundo da perfuração por meio de uma limpadeira. Assim, enquanto a perfuração não alcançar água subterrânea é necessário introduzir água no furo por forma a criar a lama por forma a facilitar a remoção dos detritos (Costa Filho et al.1998; Capucci et al., 2001).

Na perfuração pelo método de percussão em formações não-consolidadas, exige-se revestir preliminarmente as paredes do poço, para evitar desmoronamentos, efectuando-se, durante a perfuração nos horizontes não-consolidados, a aplicação de tubos de revestimento preliminar de forma telescópica em diversos diâmetros, que deverão ser aplicados à medida que a perfuração evolui. Somente após a conclusão da fase de perfuração e da aplicação do revestimento definitivo poderão ser retirados os tubos de revestimento preliminar.

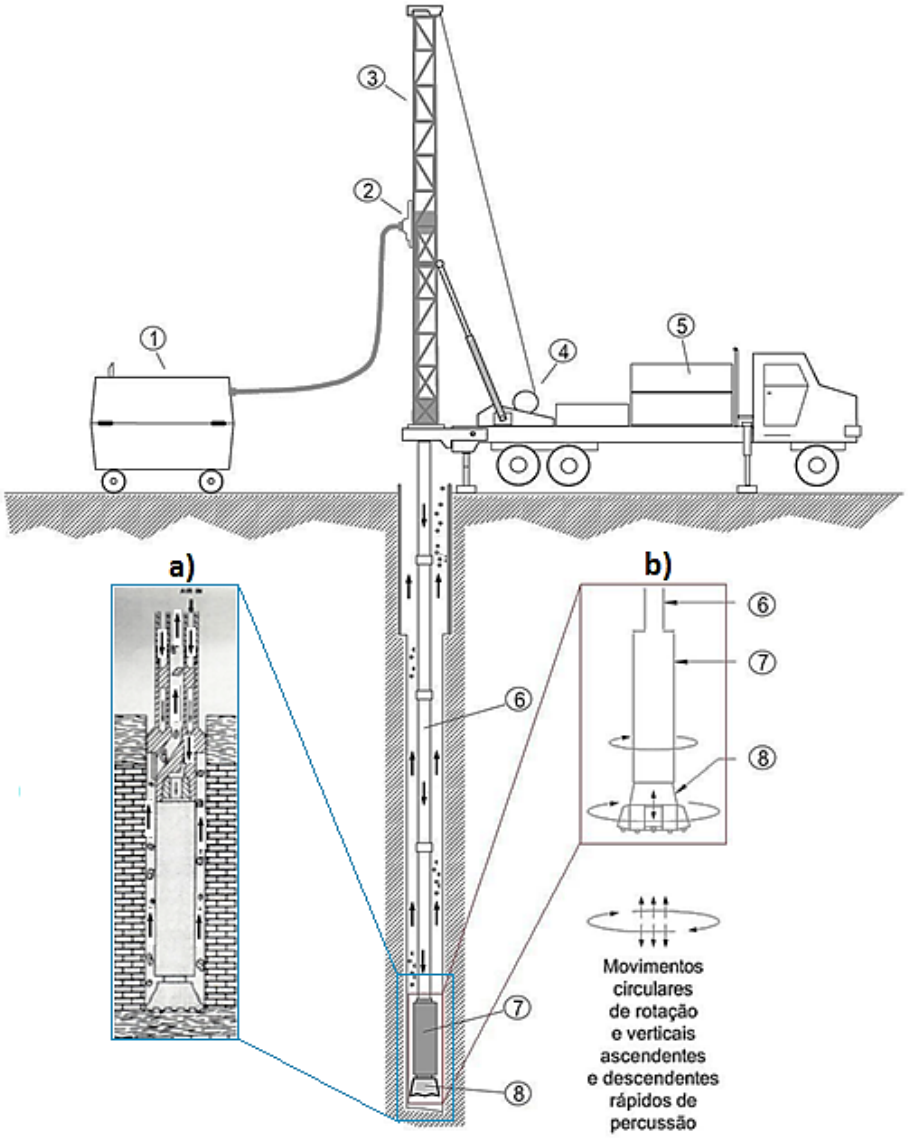
Caso ocorram desmoronamentos a grandes profundidades, será impossível cravar os tubos de revestimento preliminar devido ao excessivo atrito das paredes do furo. Neste caso, deve-se procurar alargar o diâmetro do furo e preencher a perfuração com lamas de estabilização para sustentação das paredes (Capucci et al., 2001).

6.3.2.2. Perfuração por martelo de fundo de furo

O princípio do método de martelo de fundo de furo (figura 6) é baseado numa percussão de elevada frequência e pequeno curso dado por um martelo de fundo de furo num "bit" (broca), que combinado com um movimento de rotação relativamente lento (5 a 15 rpm), em simultâneo com uma pressão sobre as varas e a ferramenta de corte, desagrega e tritura a rocha (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012).

Os resíduos de furação, originados na base do furo pela ferramenta de corte, são removidos e transportados até à superfície pelo fluido de circulação, podendo este apresentar circulação directa ou inversa.

No caso da circulação directa, o fluído de circulação é injectado em profundidade pelo interior do trem de varas, passa pelo martelo de fundo de furo accionando o pistão responsável pela percussão do referido martelo, sai pela ferramenta de corte através de orifícios próprios existentes naquela peça, e regressa à superfície através do espaço anelar entre a parede do furo e as varas. No caso da circulação inversa, o processo é o mesmo, à excepção da ascensão do fluido até á superfície, que passa pelo interior do trem de varas. O fluido de circulação pode ser ar comprimido, água ou lamas de estabilização, dependendo do tipo de ferramentas de corte em utilização.



① Compressor de alta pressão e elevado débito
② Cabeça rotativa com entrada de ar comprimido
③ Torre
④ Guincho
⑤ Compressor de percussão
⑥ Varas de sondagem
⑦ Martelo de fundo de furo
⑧ Trépano de pastilhas ("bit")
⑨ Descida do fuido de circulação pelo interior das varas de sondagem
⑩ Ascenção do fuido de circulação com detritos de perfuração entre as varas de sondagem e a parede do furo

a) Ilustração do funcionamento das ferramentas de perfuração associadas á circulação inversa

b) Ilustração dos movimentos realizados pelas ferramentas de perfuração associadas ao método de percussão pneumática

Figura 6. Perfuração por martelo de fundo de furo com martelo de fundo-de-furo e circulação directa (adaptado: Ferreira et al., 2012; Graça, 2012).

O método de martelo de fundo de furo com circulação directa é um dos processos mais populares de perfuração, mas só é aplicável em materiais rochosos medianamente alterados a sãos e pouco fracturados. Em materiais soltos, materiais brandos pouco coesos ou materiais rochosos duros mas muito fracturados é desaconselhada a utilização deste método pois, neste caso, as paredes do furo tendem a abater quando se parar a injecção de ar comprimido, bloqueando o martelo na base do furo, com eventuais riscos de perda das ferramentas de furação. Em materiais sãos muito fracturados a solução poderá passar pela aplicação de circulação inversa, pois para além de colmatar problemas de perda de fluidos pelas fracturas é um método menos agressivo às paredes da perfuração, visto que o fluido não circula em contacto com as mesmas (Graça, 2012).

6.3.2.3. Perfuração por rotação (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012)

Este método é o método mais utilizado para perfuração de poços em terrenos sedimentares, no entanto, os equipamentos de perfuração empregues possuem capacidade para atravessar qualquer tipo de material e atingir profundidades de centenas de metros. O processo de perfuração consiste em fazer rodar a ferramenta de corte que se encontra acoplada ao trem de varas. A pressão intencionalmente incrementada de forma controlada sobre a cabeça de rotação, a qual é transmitida às varas e à ferramenta de corte, complementada com a rotação destas, permite fragmentar (rotação múltipla) ou cortar (rotação simples) o terreno na base do furo. A limpeza dos materiais desagregados e a sua ascensão até à superfície poderá ser garantida por diversos fluidos, tais como ar, água ou lamas de estabilização (Graça, 2012).

Perfuração por rotação com circulação directa

No caso da circulação directa por rotação simples ou múltipla (figura 7), concomitantemente á desagregação do material geológico, o fluido de perfuração que pode ser ar, água ou lamas de estabilização, é injectado pelo interior da cabeça da sonda, deslocando-se pelo interior da coluna de perfuração e acabando por sair no fundo do furo pelos orifícios da ferramenta de corte. De seguida, retorna á superfície ascendendo pelo espaço anelar compreendido entre a parede exterior das varas de perfuração e as paredes da sondagem, arrastando consigo os detritos da perfuração até à boca do furo (Ferreira, Brito, Rodrigues da Silva, Sampaio, & Tavares, 2012) (Graça, 2012).

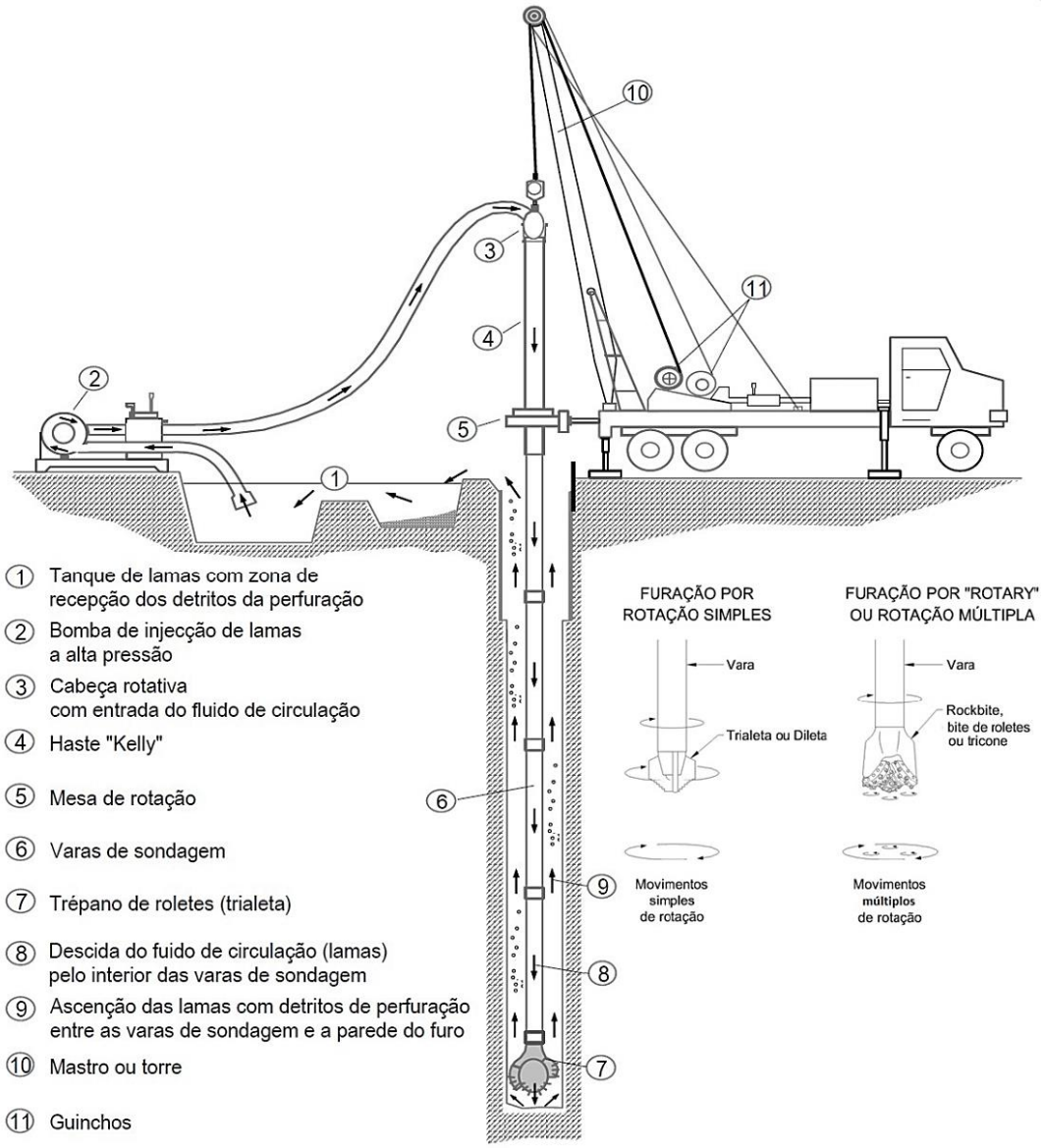


Figura 7. Perfuração por rotação múltipla com circulação directa (adaptado: Ferreira et al., 2012; Graça, 2012).

Perfuração por rotação com circulação inversa

Este processo de circulação consiste precisamente no trajecto inverso ao descrito para a circulação directa (figura 8). O fluido de circulação progride para a base do furo por gravidade através do espaço anelar entre as paredes do furo e a coluna de varas. Ao atingir a base do furo, o fluido é aspirado na base da ferramenta de corte, e ascende à superfície pelo interior das varas arrastando os resíduos de furação gerados na base do furo.

Existem várias metodologias para garantir o afluxo do fluido de circulação, pelo interior das varas até à superfície. Uma das metodologias consiste na aspiração do fluido de circulação através da utilização de bombas centrífugas instaladas na sonda de perfuração. Existem também métodos baseados na injecção de ar comprimido ao longo de diferentes profundidades ou níveis das varas de perfuração, formando-se neste caso uma emulsão ar-lamas de menor densidade, promovendo assim a sua ascensão.

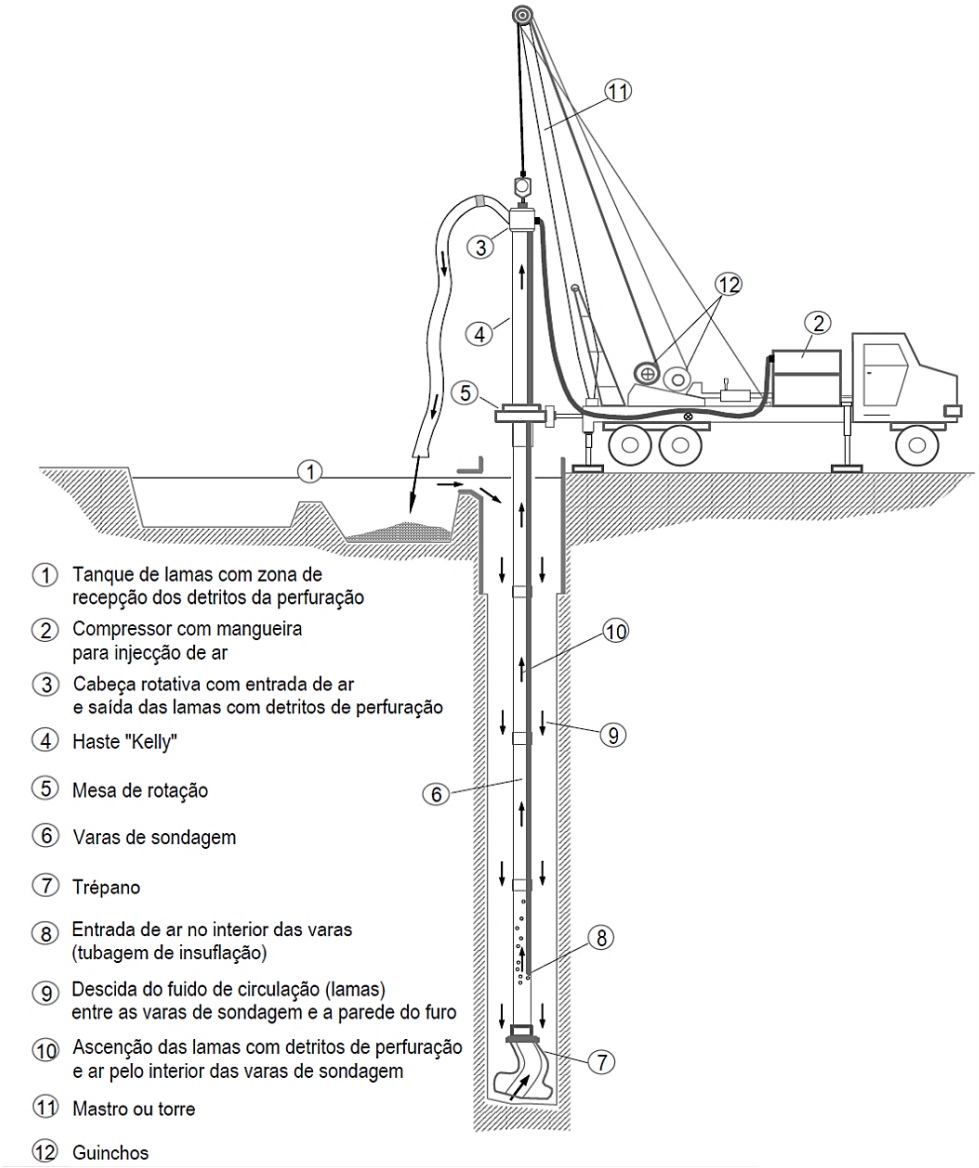


Figura 8. Perfuração por rotação com circulação inversa (Ferreira et al., 2012).

Neste método de perfuração, como não existe qualquer revestimento simultâneo das paredes do furo, o fluido de circulação é geralmente composto por lamas de estabilização, ou pela mistura de água com os resíduos de furação, desde que apresentem densidade suficiente para garantir a sustentação das paredes do furo. No caso da perfuração por rotação com este circuito de circulação, é necessário o recurso à utilização de ferramentas de corte mais largas e com aberturas na base também mais largas do que as que ocorrem na circulação directa, sendo aplicado preferencialmente na realização de perfurações de maiores diâmetros, em geral superiores a 200 mm (Graça, 2012).

6.3.3. Vantagens e desvantagens

Os diferentes métodos de perfuração apresentam várias vantagens e inconvenientes de acordo com a coluna geológica a atravessar, condições hidráulicas dos aquíferos, velocidade de avanço, disponibilidade de diâmetros, entre outros. O quadro 1 expõe as vantagens e desvantagens mais relevantes dos métodos de perfuração mencionados anteriormente.

Quadro 1. Vantagens e inconvenientes dos diferentes métodos de perfuração (adaptado de Carvalho, 1973, 1984, 2006; Ferreira et al., 2012).

Vantagens e desvantagens dos diferentes métodos de perfuração		
Métodos de perfuração	**Vantagens**	**Desvantagens**
Percussão mecânica	– Eficácia em formações geológicas com algum grau de consolidação; – Permite amostrar o material geológico de modo bastante representativo; – Permite a execução de ensaios de produtividade durante a perfuração; – Baixo consumo de água; – Baixo consumo de combustível; – Dimensões do estaleiro reduzidas; – Desvios muito pequenos na direção do furo; – As sondas de percussão são baratas, pelo que os custos horários de perfuração deverão ser menores.	– Requer revestimentos provisórios no caso de formações geológicas não consolidadas; – Baixa velocidade de avanço da perfuração, e consequentemente elevado custo; – Apresenta custos adicionais resultantes do tempo despendido em manobras de descida e subida; – O diâmetro de perfuração vai sofrendo reduções com a profundidade; – O furo terá de ser vertical.
Rotopercussão	- Elevada eficácia em rochas duras e consolidadas, com rapidez de perfuração/remoção dos detritos; - Redução de custos pela elevada rapidez de perfuração; - Permite, durante a perfuração, detectar imediatamente a profundidade aproximada e o caudal instantâneo dos níveis aquíferos atravessados; - Geralmente pode fazer-se a amostragem permanente da qualidade da água, permitindo conhecer a qualidade expedita da água produzida; - Possibilita identificar os níveis piezométricos das zonas atravessadas; - Não provoca a impermeabilização das zonas produtivas, podendo haver, até, ocorrência de algum autodesenvolvimento das zonas produtivas; - O fluido de circulação, ar, não incute contaminação significativa das paredes de perfuração ou da amostragem; - A amostragem resultante permite boa observação e apresenta pouco atraso relativamente ao avanço da perfuração; - A utilização de ar como fluido de perfuração adapta-se bem às precauções em relação à qualidade da água;	- Só é eficaz em formações consolidadas; - Adapta-se mal a terrenos não consolidados, plásticos ou muito fracturados; - o ar pode perturbar as observações relativas à qualidade do fluido de um determinado nível aquífero por oxidação de elementos ou ocultando as entradas de gases; - Avaliação delicada dos caudais dos níveis atravessados. os caudais obtidos na perfuração terão de ser interpretados à luz do Coeficiente de Redução de Caudal; - A identificação de cada nível produtivo é deficiente pois o fluido recolhido à cabeça integra a água dos vários níveis produtivos (esta limitação poderá ser minimizada com a utilização de rotopercussão com circulação inversa). - Para pequenos caudais existe o risco de colmatação das fracturas e de formação de "rolhões" de amostragem, necessitando de frequentes limpezas. Este fenómeno não ocorre quando o furo está totalmente seco ou quando a produção do furo é suficientemente importante; - há necessidade de utilização de compressores de grande potência e mesmo de "boosters" quando os caudais são grandes e os níveis de água se localizam perto da superfície; - Conseguem-se, geralmente, furos com diâmetros mais reduzidos do que nos outros métodos; - Dificuldade em manter a direção da perfuração.
Rotação com circulação directa	– Eficácia em formações geológicas não consolidadas, acompanhada de um pequeno risco de colapso do furo, evitando-se muitas vezes a utilização de revestimentos provisórios; – Permite avanços relativamente rápidos; – Perdas de fluido de circulação controláveis; – Maior facilidade de controle das propriedades das lamas bentoníticas (e.g. viscosidade e peso específico). – Perfurações com diâmetros de 45 cm e até mais largos podem ser construídos com a ajuda de alargadores.	– Equipamento dispendioso; – Apresenta custos adicionais resultantes do tempo despendido em manobras de descida e subida; – Caracterização da amostragem de formações geológicas dificultada pelo remeximento e pelo atraso em relação ao avanço da perfuração, o que pode conduzir a medições deficientes das profundidades de posicionamento dos tubos-ralo; – Pode induzir a impermeabilização e a contaminação das formações produtivas; – Alguma dificuldade em manter constante a direção de perfuração, sendo requerida uma boa técnica de execução.
Rotação com circulação inversa	– Permite a execução de furos de maior diâmetro e profundidade; – Faculta geralmente captações mais produtivas devido á utilização de lamas menos densas, logo menos penetrativas nas camadas aquiferas; – Maior limpeza dos resíduos de furação, garantindo a remoção de fragmentos de maiores dimensões e uma maior limpeza do furo e das zonas produtivas; – Avanços mais rápidos devido à elevada capacidade de remoção dos detritos de perfuração,; – Boa qualidade da amostragem (boa representatividade da amostra relativamente à profundidade de perfuração).	– Equipamento de maiores dimensões; – Necessidade de maior número de operadores; – Necessidade de um tanque de lamas maior e consumo de água mais exigente face ao elevado débito de injeção; – Maior área de estaleiro; – Perdas elevadas de fluido de circulação, em certas formações, o que pode perturbar ou deteriorar as zonas produtivas; – Risco de entupimento das varas por detritos de grande diâmetro.

6.3.4. Fluidos de circulação

Tal como se referiu anteriormente, os fluidos de circulação mais utilizados são (quadro 2), em geral: (i) o ar; (ii) a água; e (iii) aditivos adicionados ao ar (espumas) ou a água (lamas de estabilização). A utilização de fluídos de circulação tem por principal objectivo: (i) promover a remoção e limpeza dos resíduos de furação da base do furo junto à ferramenta de corte; (ii) contribuir para o arrefecimento e lubrificação da ferramenta de corte; (iii) incrementar o transporte dos resíduos até à superfície; e, nalguns casos, (iv) contribuir para a estabilização das paredes do furo, sem no entanto colmatar significativamente os níveis aquíferos. De salientar que qualquer fluído de circulação deve ascender no final à superfície, independentemente do circuito de circulação (directa ou inversa) que é aplicado. Caso se verifique a perda total do fluido de circulação haverá que progredir com grande precaução e ponderar sobre a necessidade de, eventualmente, colmatar o sector onde se verifiquem as perdas do fluido circulação, com calda de cimento, betão ou recorrendo a entubamento, sob pena de ocorrer a prisão das ferramentas de perfuração ou até mesmo o colapso do furo (Graça, 2012).

Quadro 2. Caracterização dos fluidos de perfuração mais utilizados na perfuração de água subterrânea (adaptado de Ferreira et al., 2012; Graça, 2012).

Caracterização dos fluidos de perfuração mais utilizados					
Fluido de perfuração		**Ar**	**Àgua**	**Lamas de estabilização**	
				Água e argilas expansivas (bentonite)	**Água e polimeros naturais ou sintéticos, orgânicos ou inorgânicos**
Métodos de perfuração aplicável		Rotopercussão e rotação com circulação directa.	Rotação com circulação directa.	Rotação com circulação directa e inversa.	
Maciço		formações estáveis, autoportantes, sem riscos de abatimentos significativos .	Formações estáveis em que o risco de colapso das paredes do furo seja reduzido.	Formações incoerentes, ou maciços muito fracturados ou decompostos, em que se torna necessário garantir a sustentação das paredes do furo .	
Necessidade de limpeza e desenvolvimento		Por norma não implica grandes trabalhos de limpeza e de desenvolvimento.	Não implica grandes trabalhos de limpeza e de desenvolvimento.	Implica grandes trabalhos de limpeza e de desenvolvimento e a utilização de ácidos para promover a desfloculação das lamas.	Implica grandes trabalhos de limpeza e de desenvolvimento e por vezes a utilização de ácidos fracos para promover a desfloculação das lamas.
Parâmetros de circulação	**Velocidade dentro do furo**	15 a 20 m/s, podendo atingir velocidades limite de cerca de 25 m/s.	0,2 a 0,7 m/s, dependendo da dimensão e da quantidade dos resíduos.	0,2 a 0,7 m/s, dependendo da dimensão e da quantidade dos resíduos e da densidade e viscosidade das próprias lamas.	
	Densidade	----------	Inferior a 1,080 kg/m3	Deverá, na maioria dos casos, ser inferior a 1,080 kg/m3. O aumento da densidade das lamas poderá ser obtido através da adição de barite ou hematite, utilizando bentonite, ou uma solução saturada de cloreto de cálcio, utilizando polimeros. A redução da densidade das lamas deverá ser obtida pela simples adição de água .	
	Viscosidade	----------	Deverá ser a menor possível, e apenas a suficiente para permitir uma adequada limpeza dos resíduos de furação e manter as paredes do furo estáveis.	Deverá ser a menor possível, e apenas a suficiente para permitir uma adequada limpeza dos resíduos de furação e manter as paredes do furo estáveis. A viscosidade, medida no cone de Marsh deve situar-se entre: I 34 a 40 s/dm3 para lamas normais; II entre 50 a 80 s/dm3 para lamas densas; III e entre 85 a 120 s/dm3 para lamas muito densas.	
	Teor de areia	----------	Menor que 2% em volume de areia retida no peneiro nº 200.	Menor que 2% em volume de areia retida no peneiro nº 200. Percentagem superiores poderão conduzir ao desgaste das bombas de lamas e das ferramenta deperfuração e contribuir para o incremento da erosão das paredes do furo. Torna-se assim necessário um adequado sistema de recirculação das lamas à superfície.	
Vantagens		Permite averiguar a profundidade dos aquiferos, caudais de furação e, em certos casos, o tipo de água.	Menor ruido relativamente á utilização de ar comprimido.	Contribui significativamente para a estabilidade das paredes da perfuração.	Em relação á utilização de argilas expensivas, os polímeros são biodegradáveis, caso fiquem retidos no interior do maciço drenante tendem a desflocular naturalmente, permitindo por vezes um significativo aumento da eficiência da captação sem recurso a limpezas e desenvolvimentos adicionais.
Limitações		O ar apenas contribui para a evacuação dos resíduos de furação, não desempenhando qualquer função significativa para a estabilização das paredes do furo; Profundidade de perfuração limitada á capacidade dos compressores comercializados; Em formações instaveis ou muito fracturadas carece de encamisamento.	Caso não haja condições para formação de uma lama de estabilização natural com os residuos de furação, não contribui significativamente para a estabilidade das paredes do furo.	Controlo complexo em relação á utilização de outros fluidos.	Controlo complexo em relação á utilização de outros fluidos; Não será recomendável a aplicação de polímeros orgânicos ou sintéticos nos furos de captação de água mineral, de nascente ou mesmo para consumo humano, devido à sua composição.
Informação adicional		Casos em que ocorre instabilização do maciço, mas de pequena proporção, ou se observe alguma perda do fluído de circulação, recorre-se à injecção de aditivos no ar comprimido, dando origem a uma espuma (produtos tensioactivos) que contribui para alguma estabilização das paredes do furo e auxilia a ascensão dos detritos de perfuração.	São frequentes os casos em que a mistura da água injectada, ou da própria água subterrânea, com os resíduos de furação, em especial em formações argilo-siltosas, origina um fluído mais denso, correspondendo a uma lama de estabilização natural, formada naturalmente sem a necessidade de recursos a quaisquer aditivos.	O controlo das lamas de estabilização é essencial, a viscosidade, densidade e percentagem de areia destas deverá sempre ser mantido na gama mínima necessária para uma adequada limpeza dos resíduos de perfuração e estabilidade das paredes do furo. A aplicação de lamas de estabilização mais viscosas ou densas só deverá ter lugar quando se verifique a instabilização das paredes do furo ou quando ocorram perdas significativas de fluído de circulação.	

6.3.4.1. Lamas (Graça, 2012)

A utilização de lamas de estabilização reveste-se de apreciável complexidade relativamente aos restantes fluidos de circulação (o ar e a água) requerendo a sua aplicação um controlo apurado. Devido a tal dar-se-á aqui maior relevo a este fluido de circulação. As lamas de estabilização são elaboradas através da mistura de argilas expansivas ou polímeros com água, e introduzidas no respectivo circuito de circulação, directo ou inverso, retornando aos tanques de lamas para reutilização no decurso da furação, após adequada regeneração, circulando portanto em circuito fechado. As lamas de estabilização têm por objectivo criar uma pressão hidrostática no interior do furo que fique em equilíbrio com o estado de tensão (impulso) das formações que constituem as paredes do furo, ou com a pressão hidrostática dos níveis aquíferos que forem sendo atravessados, impedindo neste caso o afluxo descontrolado da água dos mesmos.

As lamas de estabilização apresentam propriedades tixotrópicas, o que permite a evacuação dos detritos de perfuração e a estabilidade das paredes do furo. Quando em circulação, seja inversa ou directa, comportam-se como um fluido denso, arrastando consigo os detritos de perfuração, quando em repouso, funcionam como um gel em suspensão no interior do furo, não permitindo a sedimentação dos detritos de perfuração. O adequado controlo da densidade e viscosidade das lamas é fundamental para se obter bons resultados de perfuração e posterior desenvolvimento da captação. A sua fluidez, quando adequada, permite uma rápida circulação pelo interior da coluna de perfuração e através do espaço anelar entre as paredes do furo e as varas, enquanto que a sua densidade permite o arrastamento dos resíduos de furação até à superfície.

Caso a velocidade de circulação seja elevada, poderá ocorrer a erosão das paredes do furo, alterando a sua regularidade e, consequentemente, contribuir para uma eventual instabilização das mesmas. Se a densidade das lamas for muito elevada relativamente ao estado de tensão das formações perfuradas e da pressão hidrostática dos aquíferos atingidos, haverá penetração excessiva das lamas no interior dos maciços e dos aquíferos, o que poderá ser contraproducente caso se tratem de níveis aquíferos que se pretendam explorar, uma vez que a penetração da calda no seu interior reduzirá e dificultará o afluxo de água ao furo, implicando posteriormente acréscimos significativos de custos decorrentes de prolongados trabalhos de limpeza e desenvolvimento da captação e do aquífero. Porém, a aplicação controlada de lamas densas poderá ser vantajosa, pois, á parte da penetração nos poros ou fracturas dos maciços, a sua deposição nas paredes do furo por efeito do atrito natural num fluxo tubular (a velocidade de circulação das lamas junto à parede do furo é menor, o que provoca alguma deposição das lamas sobre a parede do furo) promove uma espécie de cortina estrutural. Quando depositadas sobre a parede do furo, estas lamas, por não estarem sujeitas a circulação e agitação significativa, retomam as características de gel, formando um depósito, ou filme gelatinoso, sobre a parede do furo, que promoverá uma estabilidade acrescida das paredes da perfuração, como ilustra a figura 9 (Graça, 2012).

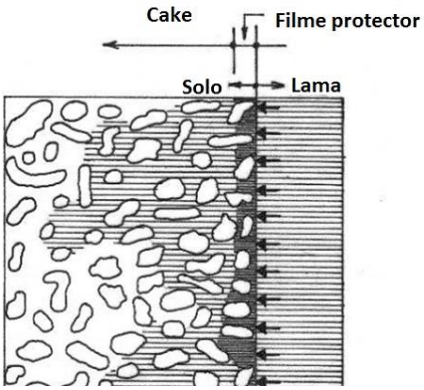


Figura 9 . Formação do filme gelatinoso e penetração das lamas de estabilização no maciço (Ueda et al., 2004).

No entanto, se as lamas forem demasiado densas a sua velocidade diminui excessivamente, aumentando a espessura do filme gelatinoso, o que diminui a sua eficiência em termos de transporte e mobilização dos resíduos de furação e, no caso do aumento exagerado da espessura do filme gelatinoso depositado sobre as paredes do furo, poderá conduzir ao colapso do próprio filme argiloso, que poderá ser acompanhado pelo colapso das paredes do furo devido à alteração da pressão hidrostática em consequência da alteração das condições locais. Se, pelo contrário, as lamas de estabilização apresentarem uma densidade inferior à desejável, a tensão hidrostática das lamas poderá não ser suficiente para equilibrar a tensão hidrostática das paredes do furo, facultando o colapso das mesmas. Pelo exposto, poderá afirmar-se que a aplicação de lamas visa a criação de um equilíbrio de pressões entre o fluido no interior do furo e as formações geológicas que o envolvem. Este equilíbrio deve ser complementado com a criação de um fino filme gelatinoso sobre as paredes do furo e com uma velocidade de circulação das lamas adequada, de forma a impedir o excesso de deposição de filme gelatinoso sobre as paredes do furo ou a erosão das mesmas (Graça, 2012).

6.3.5. Síntese dos métodos de perfuração destrutiva

Os métodos de perfuração destrutiva, segundo uma abordagem global, podem ser caracterizados segundo o quadro 3.

Quadro 3. Síntese geral dos métodos de perfuração (adaptado de Carvalho, 1973, 2006; Graça, 2012).

Síntese dos métodos de perfuração, respectivas aptidões e tipos de formações a perfurar.

Método de Perfuração	Sistema de circulação	Ferramenta de corte	Fluido de circulação	Diâmetros	Desenvolvimento	Tipo de amostragem	Profundidade	Formações não consolidadas	Formações consolidadas				
									Muito alteradas a decompostas ou argilificadas	Medianamente alteradas a sãs			Carsificadas (cavidades)
										Brandas a muito brandas	Duras a muito duras e pouco fracturadas	Duras a muito duras e muito fracturadas	
Percussão	_____	Trépano e limpadeira	Nenhum	Menores com o aumento da profundidade	Muito fácil	Excelente qualidade e representatividade	Condicionada pela resistência das litologias ao avanço do trépano	Não aplicável	Não aplicável	Viável	Viável. Baixo rendimento.	Viável	Viável
			Água		Fácil e rápido em formações pouco alteradas e moroso e difícil em materiais argilosos ou siltosos.	Boa qualidade e representatividade			Viável a difícil. Problemas de estabilidade.	Viável	Não aplicável	Não aplicável	Não aplicável
			Lamas de estabilização		Difícil			Aplicável	Viável	Aplicável			
Rotopercussão	Circulação directa	Martelo fundo de furo simples	Ar comprimido	Menores a médios	Mais fácil, rápido e económico	Deficiente, com contaminação cruzada por arrastamento de material das paredes do furo. Pouco precisa.	Condicionada. Limitada pela potência do compressor e pela posição do nível da água no furo.	Não aplicável	Inadequado. Probleas de estabilidade	Viável a difícil. Problemas de estabilidade.	Aplicável. Bons rendimentos.	Viável a difícil. Problemas de estabilidade e de retorno do fluído de circulação.	Difícil a muito difícil. Problemas de retorno do fluído de circulação
		Martelo de fundo de furo com entubamento simultâneo (Simmetrix, Odex, etc.)				Deficiente		Aplicável em formações não argilosas ou siltosas, com entubamento perdido.	Inadequado nas formações argilificada. Problemas de estabilidade. Possibilidade de entubamento perdido.	Aplicável. Possibilidade de entubamento perdido.	Aplicável.	Aplicável. Possibilidade de entubamento perdido. Necessidade de cimentações e isolamentos.	Aplicável mas com elevados consumos de ar
	Circulação inversa	Martelo fundo de furo com circulação inversa											Aplicável. Bons rendimentos
Rotação simples e múltipla	Circulação directa	**Rotação simples** -- dialeta, trialeta e tetraleta para. **Rotação múltipla** - tricone ou bite de roletes para	Ar	Menores a médios	Em geral fácil	Razoável, com contaminação cruzada por arrastamento de material das paredes do furo. Pouco precisa.	Condicionada pela resistência das litologias e pela potência do compressor e pela posição do nível da água no furo.	Não aplicável	Difícil. Problemas de estabilidade.	Viável a difícil. Problemas de estabilidade.	**Rotação simples** - não aplicável. **Rotação múltipla** - Viável. Baixo rendimento.	**Rotação simples** - não aplicável. **Rotação múltipla** - Viável a difícil. Problemas de estabilidade.	Difícil a não aplicável. Problemas de retorno do fluído de circulação, com elevadas perdas. Necessidade de isolamentos durante o avanço.
			Água		Fácil e rápido em formações rochosas não alteradas a sãs e moroso e difícil em materiais argilosos ou siltosos.		Condicionada pela resistência das litologias e pela potência dos equipamentos de perfuração e de injecção de água ou ar.		Viável a difícil. Problemas de estabilidade.				
			Água e ar										
			Lamas de estabilização (bentonites ou polímeros) normalmente mais densas sendo necessário maior controlo.		Tende na maioria dos casos a revelar-se difícil, por vezes muito difícil.		Condicionada pela resistência das litologias e pela potência dos equipamentos de furação e de injecção das lamas de estabilização.	Viável	Viável	Viável		**Rotação simples** - não aplicável. **Rotação múltipla** - Viável a difícil. Problemas de estabilidade.	
	Circulação inversa		Lamas de estabilização (bentonites ou polímeros). Permite aplicação de lamas mais fluidas e menos densas	Maiores	Relativamente rápido e fácil	Preferencialmente de boa qualidade e com melhor representatividade. Sem risco de contaminação na ascensão.	Condicionada pela resistência das litologias e pela potência dos equipamentos de furação e de elevação das lamas de estabilização.	Viável. Bons rendimentos	Viável. Bons rendimentos	Viável. Bons rendimentos			

6.3.6. Metodologia de perfuração em maciços rochosos fissurados antigos (Carvalho, 2006; Ferreira et al., 2012)

O método difundido para perfurar em maciços rochosos fissurados é o do martelo de fundo de furo com circulação directa. Este método é mais adequado quando se perfura colunas geológicas com pequena cobertura de solo. Caso se verifiquem formações superficiais não consolidadas, inicialmente é utilizado o método "rotary" com emprego de circulação de lamas. Encontrada a rocha sã, a perfuração prossegue a martelo de fundo de furo accionado a ar comprimido (Ferreira et al., 2012). Outra forma de ultrapassar as zonas instáveis superficiais passa pelo recurso a técnicas de entubamento metálico auxiliar descido em simultâneo com a perfuração: Odex, Symetrix, Saturn, Neptune, etc. e, em geral, do tipo "under reamer and casing driver". Em situações não muito difíceis a adição de "espumas" poderá ser solução.

Para além das condicionantes geológicas, factores de ordem hidrodinâmica podem também dificultar a utilização do método do martelo de fundo de furo. Nas zonas de maior potencial hidrogeológico em rochas compactas e fissuradas, a elevada fracturação ou alteração profunda conjuntamente com a forte carga hidráulica ou grande caudal a elas associadas proporcionam menor eficácia ao método devido à instabilidade das paredes da perfuração e dificuldades de evacuação dos detritos de perfuração. Estas dificuldades podem levar há necessidade da realização de cimentações, introdução de tubagens auxiliares ou recurso a outras técnicas de perfuração, como a alternativa "rotary" com circulação directa, que tem sido utilizada em zonas de alteração profunda. No entanto, todas estas operações mascaram significativamente o controlo hidrogeológico da água e dos caudais afluentes ao furo. A "rotary" a ar tem sido usada em situações limite em que os elevados caudais não permitem o funcionamento do martelo. Mas esta opção exige equipamento acessório, como varas de contrapeso, cuja mobilização encarece significativamente a obra. A tecnologia recente do martelo de fundo de furo com circulação inversa, que isola o fluido ascendente das paredes da perfuração, é menos agressiva para estas relativamente á circulação normal, e pode vir a ter sucesso nos locais onde se exijam maiores diâmetros de perfuração, isto é, onde se preveja a ocorrência de maiores caudais (Carvalho, 2006).

6.4. Controlo hidrogeológico (Carvalho, 1973, 2006; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Quando da execução da sondagem (de pesquisa ou com o diâmetro final) serão recolhidas amostras de terreno em intervalos regulares, geralmente de 3 em 3 metros, ou sempre que o terreno atravessado varie significativamente. Estas amostras deverão ser colocadas em lugar protegido da passagem de viaturas ou pessoas (ou animais) e da chuva, separadas por um pequeno espaço para evitar que se misturem. A cada amostra deve corresponder uma etiqueta numerada, com as profundidades inicial e final a que foi obtida (figura 10) (Ferreira et al., 2012).

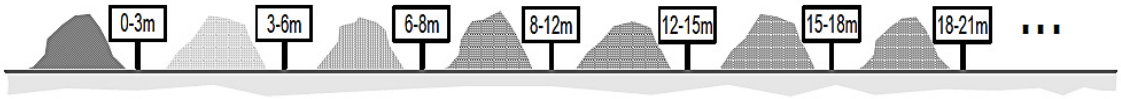


Figura 10. Exemplo da disposição das amostras das formações geológicas atravessadas e respectivas etiquetas (Ferreira et al., 2012).

Esta colecção de amostras, recolhida na fase da pesquisa, serve principalmente para que no caso de não se dispor de outros dados (e.g. diagrafias), possa-se definir a posição e características dos ralos a intercalar na coluna de revestimento definitivo, o tipo de seixo constituinte do maciço filtrante a ser colocado entre a coluna e o terreno, assim como a(s) zona(s) a isolar para evitar contaminações indesejadas. Para maior segurança uma colecção dessas amostras deve ser preservada numa ou mais caixas de plástico com divisões e respectiva catalogação. Esta colecção pode ser de muita utilidade em casos de degradação da captação de que resulte necessidade de qualquer peritagem sobre as situações anómalas que eventualmente se venham a detectar (Ferreira et al., 2012).

A amostragem é fulcral para o conhecimento em profundidade do maciço e, conjuntamente com o registo dos níveis, caudais e parâmetros de perfuração evidenciados, promove o controlo hidrogeológico, que se destina a (Carvalho, 2006; Graça, 2012 e Ferreira et al., 2012):

(i) Controlar a litologia atravessada e as alternâncias litológicas. O registo da cor, da alternância litológica, do grau de alteração e de fracturação e da cor da água são fundamentais. Na medida do possível, em maciços rochosos fissurados, apesar das dificuldades colocadas pela amostragem, deve-se seguir os critérios propostos pela ISRM (1978, 1981) e pela GSE (1995) para o grau de alteração e, se possível, para a fracturação (Carvalho & Chaminé, 2004);

(ii) Registar as zonas de humidade e as entradas de água;

(iii) Controlar os caudais registados durante a perfuração ou, se for o caso, o caudal de artesianismo repuxante, sempre que se observe um afluxo ou redução brusca da quantidade de água durante a perfuração. O mesmo se aplica nos ensaios de limpeza destinados a evacuar a amostragem retida no fundo e nos trabalhos de desenvolvimento do furo;

(iv) Controlar os níveis de água durante a furacão ou a pressão hidrostática na boca do furo em caso de artesianismo repuxante (no final e início do turno) para obter indicações sobre a natureza hidrodinâmica dos níveis atravessados;

(v) Avaliar a qualidade da água com equipamento de campo para determinação de pH, condutividade eléctrica e/ou sólidos totais dissolvidos, temperatura, cloretos, dureza, nitratos e fosfatos (indicadores de contaminação antropogénica) ou outros parâmetros indicadores. No caso de águas minerais esta operação pode ser mais sofisticada e incluir parâmetros mais específicos (alcalinidade, teor de CO_2, de sulfuração, do teor em ferro, etc.). O controlo deve ser realizado sempre que é atravessada uma formação aquífera;

(vi) Projectar a coluna definitiva de entubamento caso o furo seja produtivo;

(vii) Adaptação sistemática do programa de ensaios previstos;

(viii) Programar os ensaios finais de caudal e estabelecer previsões sobre o caudal de exploração.

Parâmetros como a granulometria da amostragem, a velocidade de avanço e o “bater do martelo” são também indicadores que devem ser registados e utilizados posteriormente se necessário, pois ajudam a construir o corte do furo que deve ser sistematicamente actualizado com toda a informação atrás referida (Carvalho, 1973, 2006). É de referir que variações significativas no tempo de avanço das varas de perfuração e o som da percussão do martelo indicam muitas vezes mudanças de litologia, descontinuidades ou presença de cavidades que ocorrem em profundidade.

Se o método de perfuração for o de rotação, com circulação directa ou inversa de “lamas”, as medições de caudais e níveis de água durante a pesquisa são quase sempre impossíveis. Todavia, deve-se registar as variações significativas da densidade e de viscosidade das lamas e as profundidades a que se verificam perdas das mesmas durante a perfuração, bem como a profundidade do nível de lamas no interior do furo e a densidade e viscosidade no início de cada dia de trabalho ou da perfuração. Por vezes, estes parâmetros dão uma indicação de produção de água pela diluição das lamas (Ferreira et al., 2012).

Embora o controlo hidrogeológico tenha sido exposto até agora como método para o acompanhamento e controlo da perfuração a nível hídrico e geológico, deve-se assinalar também o seu carácter de controlo técnico, pois permite verificar o cumprimento das normas técnicas do projecto, e carácter informativo para obras futuras, através da rentabilização do investimento em perfurações, limitando a multiplicação das tentativas menos conseguidas e optimizando a aquisição de dados e respectiva interpretação.

Toda esta informação deve ser confrontada com o modelo conceptual que serviu de base à perfuração e, se necessário, adaptá-lo ou optar por outro (Carvalho, 2006).

6.5. Diagrafias (Feitosa & Filho, 2000; Carvalho, 2006; Graça, 2012)

A aplicação de diagrafias encontra-se associada aos métodos de perfuração com utilização de lamas como fluido de circulação, visto que que as lamas mascaram a amostragem e não permitem o adequado controlo hidrogeológico, necessitando-se por isso do recurso a técnicas que permitam inferir parâmetros hidrogeológicos de forma a averiguar as características geológicas, hidrodinâmicas e hidroquímicas das formações atravessadas. Uma diagrafia consiste na descida e/ou subida de uma sonda específica ao longo da zona perfurada, procedendo-se à aquisição, em contínuo, do registo de um conjunto de determinados parâmetros, como as propriedades eléctricas (condutividade eléctrica ou potencial electroquímico natural), acústicas (velocidade de propagação das ondas sonoras), mecânicas (maior ou menor desmoronamento das paredes do poço e constantes dinâmicas), radioactivas (teor radioactivo espontâneo ou induzido), etc., que permitirá inferir propriedades da água subterrânea, das formações ou do próprio furo. O registo é feito no local da obra e em tempo real, sendo os valores projectados num gráfico dos valores registados versus profundidade (Feitosa & Filho, 2000; Graça, 2012).

Os tipos de parâmetros que normalmente são registados em diagrafias de furos de captação de água mineral são os seguintes (Graça, 2012): i) Potencial espontâneo; ii) Temperatura; iii) Condutividade do fluido; iv) Diâmetro da captação (Caliper); v) Resistividade eléctrica; vi) Radiação gama natural.

A selecção do tipo de parâmetros é realizada de forma a permitir determinar a profundidade e a extensão dos níveis produtivos do tipo de água mineral que se pretende vir a captar, de modo a posicionar os ralos e o maciço drenante nesses sectores e isolar os restantes sectores produtivos da captação que correspondam a outros tipo de água que não se pretende captar. Os dados das diagrafias devem ser analisados em conjunto com os dados obtidos do controlo hidrológico e com o diagrama do furo obtido através das amostras de perfuração recolhidas (Graça, 2012).

A utilização de diagrafias pode ser considerada dispensável nos casos correntes em que um controlo hidrogeológico detalhado durante a perfuração permite a detecção das zonas aquíferas, seus caudais e qualidade da água. No que concerne à prospecção de água no Maciço Antigo (Carvalho, 1996; Carvalho et al., 2000, 2003, 2005, 2007) as diagrafias instantâneas e diferidas são de utilização pouco corrente. Contudo torna-se quase obrigatória a sua utilização quando se perfuram maciços terrosos materializados por um grau de alteração a maiores profundidades (superior a 100 m), (Carvalho, 2006).

6.6. Controlo da verticalidade da perfuração (Graça, 2012)

Diversos factores associados às características de um maciço rochoso a perfurar tendem a alterar a linearidade e a originar um desvio da perfuração, por vezes muito significativo em relação à vertical. De entre os factores que mais frequentemente tendem a originar desvios da verticalidade do furo contam-se (Graça, 2012):

(i) Peso incorrecto sobre a ferramenta de corte;
(ii) Superfícies de estratificação entre camadas com diferente dureza;
(iii) Sectores muito fracturados;
(iv) Xistosidade das formações;
(v) Zonas de falha, muito tectonizadas;
(vi) Ocorrência de blocos não alterados, em maciços alterados a decompostos.

Os desvios de perfuração, para além de possivelmente dificultar o entubamento e a construção adequada do maciço filtrante de seixo e de cimentações, poderão impedir alcançar o nível aquífero desejado ou implicar a execução de muitos mais metros de furação até se atingir o aquífero que se pretende captar. Caso tais variações não sejam excessivas, podem ser parcialmente corrigidas com a aplicação de centralizadores na tubagem da coluna de revestimento ou por métodos especiais de perfuração utilizando varas rectificadoras (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012). Considera-se prudente proceder a testes de verificação da verticalidade do furo com alguma periodicidade, de modo a garantir a verticalidade e linearidade da captação no final dos trabalhos de furação (Graça, 2012).

7. Captação (Graça, 2012)

Terminados os trabalhos de pesquisa, se os resultados então obtidos forem satisfatórios, inicia-se a fase de transformação do furo de pesquisa em captação definitiva. Tal como referido anteriormente, o controlo hidrogeológico deverá conduzir à elaboração de um projecto da captação definitiva adequado às condições hidrogeológicas locais, à localização do aquífero de água mineral em profundidade e aos níveis aquíferos de água não mineral a isolar. O projecto da captação envolve a colocação do revestimento, colocação do maciço drenante, selagem, limpeza e desenvolvimento, caracterização hidráulica e a instalação do sistema de bombagem (figura 11), (Graça, 2012).

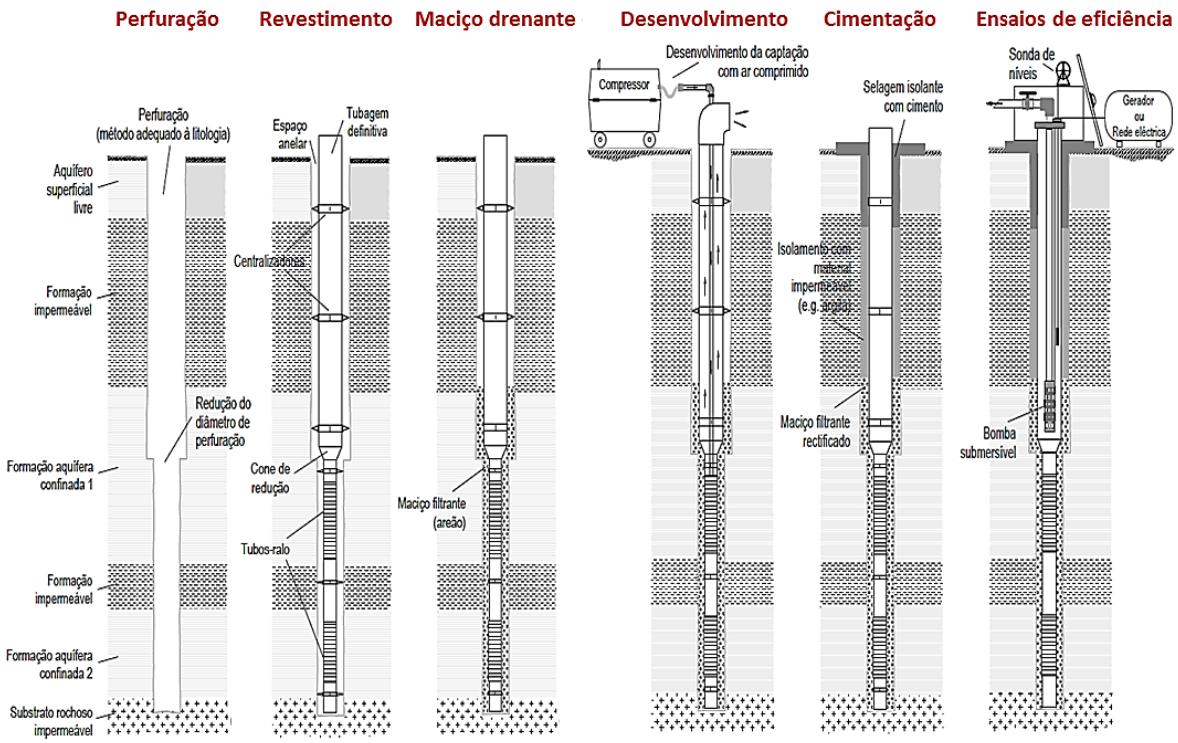


Figura 11. Exemplo genérico das principais fases de construção de uma captação (caso de um furo com redução de diâmetro da coluna de revestimento), (Ferreira et al., 2012).

A construção da captação inicia-se com uma fase de perfuração ou eventual alargamento (no caso de furos de pesquisa e eventual captação) e de isolamentos intercalares das paredes do furo (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012). Após conclusão da perfuração e isolamento dos níveis aquíferos de água não mineral segue-se uma fase de construção da captação, composta pela colocação do revestimento definitivo, maciço drenante (caso se apliquem tubos ralo) e isolamento final do sector acima do maciço drenante. Construída a captação, passa-se a uma fase de limpeza e desenvolvimento do furo com o intuito de promover e facilitar o afluxo de água ao interior da captação e, ao mesmo tempo, remover eventuais lamas ou detritos de furação remanescentes na envolvente do furo ou no maciço drenante. Esta fase é complementada com uma desinfecção da captação mediante a introdução de uma solução bactericida de baixa concentração. Em seguida, para a caracterização hidráulica da captação e o dimensionamento definitivo da bomba submersível, é realizado um ensaio de bombagem escalonado, o qual é complementado com um ensaio de bombagem de longa duração seguido por um ensaio de recuperação para caracterização hidráulica do aquífero. Por último, conclui-se a captação procedendo-se à instalação da bomba submersível.

Estas operações são complementadas com o isolamento da cabeça da captação com uma flange perfeitamente estanque no cabeçote do furo e a colocação de um filtro de ar, de qualidade microbacteriológica, para compensar a variação das pressões no interior da captação aquando das oscilações do nível da água decorrentes das diferentes fases de exploração da mesma (Graça, 2012). A construção de um furo de captação de águas subterrâneas é uma obra complexa que se desenrola no subsolo quase sempre fora da vista dos intervenientes na sua construção, o que torna difícil avaliar o que acontece no decorrer dos trabalhos. Contudo, quando correctamente projectado/dimensionado deverá assegurar (Ferreira et al., 2012):

(i) A extracção do caudal pretendido causando as menores modificações possíveis ao aquífero (e.g. rebaixamentos exagerados e contaminações induzidas);
(ii) Água com qualidade adequada ao fim a que se destina;
(iii) A protecção do aquífero de fontes locais de contaminação;

(iv) Um custo total de construção e de exploração razoável a curto e médio prazo;
(v) Um período de vida útil médio de 25 anos.

7.1. Estrutura do projecto de captação (Graça, 2012)

Com base nos estudos geológicos e hidrogeológicos de superfície desenvolvidos numa fase preliminar, é elaborado um projecto da captação a executar em função da profundidade a que o aquífero se situa, da sua espessura, dos tipos de formações a perfurar e da existência de outros aquíferos a isolar, cuja captura das respectivas águas não se pretenda. O projecto da captação deverá assim indicar: (i) as profundidades de furação; (ii) diâmetros de perfuração; (iii) metodologias de perfuração e fluidos de circulação; (iv) tipos de diagrafias a realizar; (v) profundidades e extensões das zonas a isolar; (vi) tipos de selantes e metodologias de aplicação; (vii) tipos e diâmetros das tubagens de revestimentos a aplicar; (ix) tipo e extensão dos tubos ralos; (x) características e extensão do maciço drenante; e (xi) métodos de desenvolvimento, limpeza e desinfecção da captação, apenas mencionando as temáticas essenciais. Este projecto, após a fase de pesquisa, é, caso necessário, ajustado de acordo com a informação adquirida através do controlo hidrogeológico da sondagem de pesquisa e de diagrafias possivelmente realizadas, culminando no projecto definitivo da captação (Graça, 2012).

7.2. Selecção dos diâmetros de perfuração (Graça, 2012)

A execução de um furo implica, em geral, o recurso a vários diâmetros de furação ao longo da perfuração em profundidade, numa evolução telescópica do maior diâmetro no topo para o menor diâmetro na base da captação (figura 12). Esta opção deve-se a questões de potência dos equipamentos, de questões de índole económica e por motivos de estabilidade das paredes do furo durante a fase de perfuração. Os equipamentos de perfuração têm limitações quanto à relação de diâmetros de perfuração com a profundidade da sua execução. A realização de um grande diâmetro torna-se cada vez mais morosa e dispendiosa à medida que se evolui em profundidade. Por outro lado, durante a perfuração pode verificar-se a necessidade de se proceder a operações de isolamentos ou revestimentos intercalares da captação, de modo a ultrapassarem-se situações de instabilização das paredes do furo, facto que pode implicar que a continuação da perfuração seja realizada com um diâmetro ligeiramente menor do que o da tubagem de revestimento entretanto instalada naquela operação de estabilização, razão pela qual os diâmetros iniciais deverão ser generosos, de modo a permitir sucessivas reduções de diâmetro de furação.

A selecção dos diâmetros e respectiva extensão em profundidade para uma captação depende de vários factores, os quais aludem genericamente (Graça, 2012):

(i) Diâmetro previsto para bomba submersível;
(ii) Diâmetro da tubagem de revestimento na câmara de bombagem e o respectivo espaço anelar entre esta e a parede do furo;
(iii) Evolução dos rebaixamentos do aquífero durante a fase de exploração;
(iv) Profundidade do nível aquífero especifica de água mineral;
(v) Estabilidade das paredes do furo;
(vi) Quantidade de isolamentos a realizar durante a fase de perfuração.

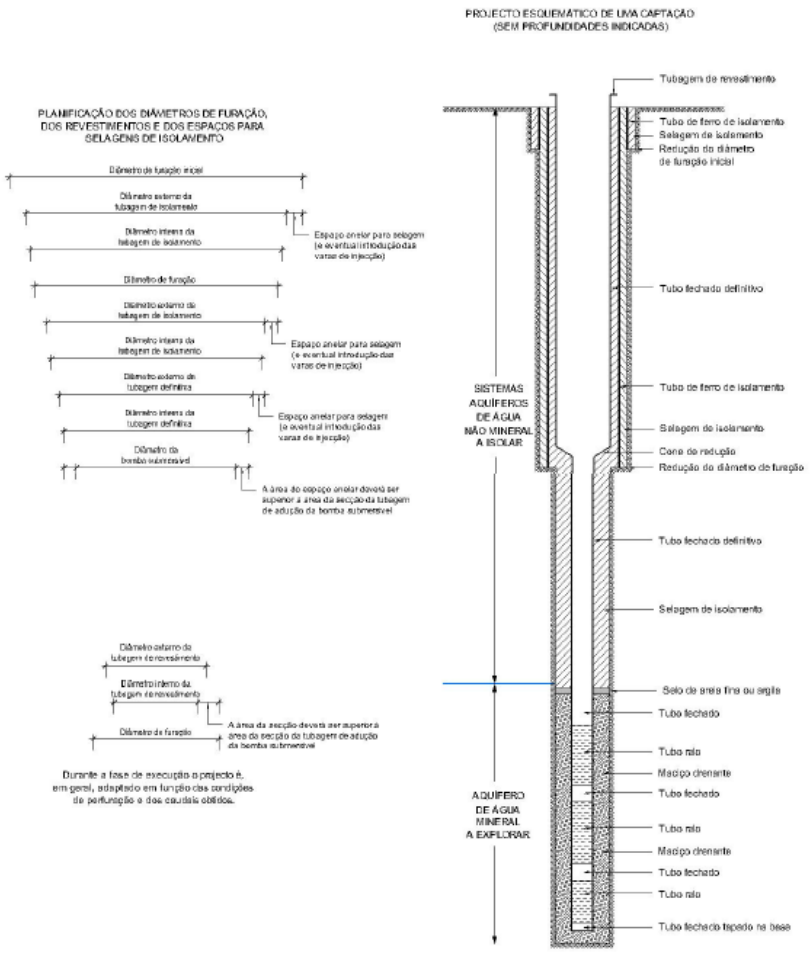


Figura 12. Planificação de diâmetros de perfuração segundo os factores intervenientes (Graça, 2012).

7.3. Selantes e isolamentos

O isolamento dos diversos níveis aquíferos que não se pretendem captar inicia-se no decurso da fase de perfuração, prolongando-se até ao final da construção da captação com a aplicação do isolamento final acima do topo do maciço drenante.

Muitos dos isolamentos intercalares por cimentação e selagem podem, obviamente, ser realizados no final da construção, após a instalação da coluna de revestimento e do maciço drenante. No entanto, caso se verifique algum insucesso nesta operação, a qualidade de construção da captação poderá ficar comprometida. Apesar de mais dispendioso e moroso, é preferível proceder ao prévio isolamento de todos os níveis indesejáveis antes de se proceder à colocação da coluna de revestimento definitiva e do maciço drenante, o que não impede no final de se proceder a um isolamento complementar e final do sector acima do maciço drenante.

Para o isolamento dos níveis indesejados recorre-se, em geral, à aplicação de produtos selantes de diminuta permeabilidade, designando-se, em termos de composição: (i) argilas expansivas simples ou com adjuvantes; (ii) calda de cimento e água, ou de cimento e água com alguma percentagem de adjuvantes; e (iii) argamassas de betão. Estes produtos de selagem podem ser aplicados isoladamente ou em conjunto com tubagens de isolamento que têm por função complementar e/ou reforçar o isolamento de um determinado sector da captação. Enchimentos do espaço anelar entre as tubagens e as paredes da perfuração com materiais permeáveis ou argilas não expansivas são contra-indicados, pelo facto de não apresentarem função de impermeabilização e de reforço de protecção das tubagens de revestimento (Graça, 2012).

Essencialmente, a aplicação dos produtos selantes visa (Capucci et al., 2001; Costa Filho et al., 1998; Graça, 2012):

(i) Evitar a infiltração de águas superficiais ou sub-superficiais, na maioria dos casos contaminadas;

(ii) Evitar a penetração de água indesejada ao longo da face externa do revestimento. Um furo de água mineral objectiva captar apenas um aquífero específico, impedindo ao mesmo tempo a entrada de águas de outros níveis aquíferos por possuírem perfis hidroquímicos diferentes, por apresentarem contaminação química ou bacteriológica, ou por apresentarem gradientes hidráulicos muito diferentes;

(iii) Fixar o revestimento à parede da perfuração;

(iv) Formar um envoltório protector em redor das tubagens de revestimento definitivo da captação contra a corrosão externa;

(v) Corrigir desvios do furo durante a perfuração.

Em geral, a selagem de um furo deve estender-se até à profundidade de uma formação compacta ou impermeável (Ferreira et al., 2012).

7.4. Tubagens de isolamento intercalar

Durante a fase de perfuração pode verificar-se a necessidade de ter de se proceder a isolamentos no maciço com recurso à implementação de tubagens intercalares, complementadas com a aplicação de selantes no espaço anelar entre estas e o maciço envolvente. Estes isolamentos relacionam-se em geral com a necessidade de estabilização das paredes do furo, de sectores em que se verifiquem perdas acentuadas de fluido de circulação e, muito frequentemente, com os isolamentos de níveis aquíferos que não se pretendem captar (Graça, 2012).

Entre as tubagens de isolamento, que neste tipo de operações são normalmente em ferro, embora nalgumas situações poderá recorrer-se a tubagens em PVC, distinguem-se (Graça, 2012):

(i) **Tubo guia**, aplicado no início dos trabalhos no troço inicial perfurado para encaminhamento preferencial das águas ou lamas na zona da boca do furo. O seu diâmetro deverá ser o máximo possível, de modo a salvaguardar a eventual necessidade de reduções de diâmetro em profundidade motivadas por problemas de instabilidade e encamisamentos intercalares;

(ii) **Tubagens intercalares de isolamento**, aplicados ao longo dos trabalhos da fase de perfuração para conferir estabilidade estrutural às paredes de perfuração, isolamento de níveis aquíferos que não se pretendem captar ou para facilitar a identificação do nível aquífero a captar, isolando os aquíferos acima por forma a evitar mistura de águas. Deverão ser equipados de centralizadores para permitir que a calda de cimento envolva de forma homogénea e contínua toda a parte exterior da tubagem, evitando que esta fique encostada à parede do furo, o que sequenciará deficiente revestimento e isolamento da tubagem pela calda.

A tubagem de encamisamento final não se inclui nestes tipos de tubagens, atendendo às suas características específicas.

7.5. Coluna de revestimento definitivo

No final da fase de perfuração os furos são geralmente revestidos ou encamisados mediante a implantação no seu interior de uma tubagem de revestimento final, que constituirá as paredes da captação propriamente dita, pondo os aquíferos em comunicação com a superfície (Costa Filho et

al., 1998; Graça, 2012). Comummente são estabelecidos dois processos genéricos para construção da coluna de revestimento definitivo – revestimento integral e "open hole", optando-se por um dos processos de acordo com a estabilidade das formações atravessadas. Nas situações em que há instabilidade das formações geológicas é necessário revestir a captação com uma coluna de revestimento final integral, constituída pela conexão de um conjunto de (i) tubos fechados (ou cegos), tubos sem quaisquer orifícios que são colocados nos sectores onde não se pretende que haja entrada de água para o interior do furo; (ii) cones de redução, peças com formato cónico que garantem a ligação entre sectores de tubagens de revestimento com diferentes diâmetros, originando neste caso um revestimento do tipo telescópico; e (iii) tubos ralos, tubos que possuem vários orifícios para permitir a entrada livre da água para o interior da tubagem de encamisamento, impedindo concomitantemente a penetração de partículas para o interior da captação.

A coluna linear é conectada progressivamente e colocada no interior do furo imediatamente após a fase de furação, sendo, após a sua instalação, envolvida pelo maciço drenante e pelo material de isolamento colocado acima deste, objectivando (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012):

(i) Prevenir o colapso das paredes da perfuração;
(ii) Proteger o equipamento de bombagem;
(iii) Isolar certos níveis dos que se pretendem explorar, cujo aproveitamento não interessa ou seja inconveniente;
(iv) Permitir o acesso livre da água proveniente dos aquíferos que se pretendem captar ao interior da captação, com isenção de partículas sólidas.

Para conferir os objectivos acima assinalados durante a longevidade prevista para a captação, a estrutura de revestimento definitivo deve compreender os seguintes requisitos (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012):

(i) Suportar as pressões do terreno circundante à captação sem qualquer deformação, torção ou rotura;
(ii) Ser resistente à oxidação e corrosão pela água, em especial no sector onde ocorre a variação mais frequente do nível da água no furo (entre o nível hidrostático e o nível hidrodinâmico máximo estabilizado);
(iii) Suportar as reacções químicas e de aquecimento associadas ao período de cura da calda de cimento das injecções de selagem sem sofrer qualquer deformação, torção ou rotura;
(iv) Garantir a estanquidade nos sectores de tubos fechados;
(v) Apresentar uma composição química das tubagens que não provoque alteração da composição da água ou que não origine a migração dos seus componentes para a água;
(vi) A sua instalação deverá garantir uma boa linearidade da sua estrutura, sem ocorrência de deformações ou torções devido ao peso próprio;
(vii) A superfície interior dos tubos fechados e das suas conexões devem ser completamente lisas, isentas de rugosidades ou de sulcos, de modo a impedir a criação de ambientes propícios ao alojamento de microorganismos na tubagem.

Nas formações geológicas compactas (rocha com coesão), desde que haja estabilidade das paredes da perfuração, não é necessário revestir a captação, ficando o furo sem revestimento ou em "open hole" (figura 13), (Ferreira et al., 2012). Nestes casos, apenas a parte superior do furo, em geral correspondente à zona da câmara de bombagem, é que é revestida e isolada com tubo fechado, por forma a salvaguardar o equipamento de bombagem e a impedir a entrada de águas superficiais, de águas de níveis aquíferos indesejados, e reforçar a estabilidade das paredes do furo no sector mais superficial, em geral mais alterado e/ou fracturado, onde por norma se revela mais instável.

Convém que este sector encamisado penetre garantidamente na zona estável e não alterada do maciço rochoso pois, caso contrário, poderá verificar-se a entrada fácil de águas superficiais indesejadas. Além disso, por razões de segurança, o sector encamisado destes furos deverá corresponder à totalidade da câmara de bombagem. A parte inferior da captação não é revestida. Abaixo do sector encamisado o furo é apenas constituído pelas paredes do maciço rochoso, verificando-se assim a entrada directa da água para o interior do furo. Este tipo de furos apenas podem ser realizados em maciços rochosos autoportantes, pouco alterados a sãos e pouco fracturados, em que não ocorra instabilização das paredes do furo. Não é possível, por razões óbvias, esta opção não revestida em formações detríticas soltas, sob pena de um total assoreamento do sector inferior não revestido do furo (Graça, 2012).

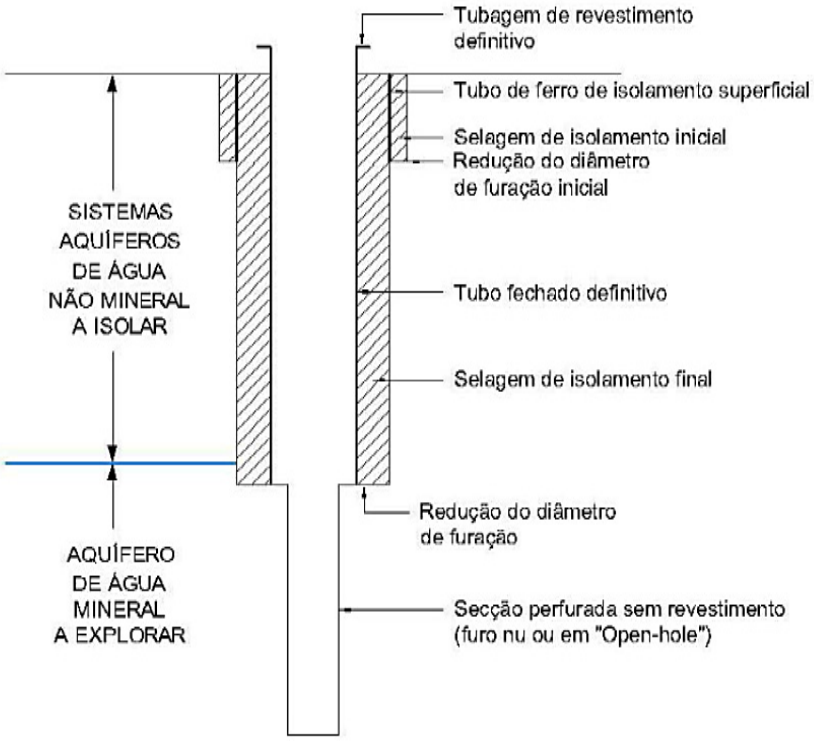


Figura 13. Esquema simplificado de um furo em “open hole” (Graça, 2012).

Em Portugal, a realização desta prática no que toca a furos de água mineral ou de nascente corresponde a uma pequena fracção. Em vários casos verificou-se a necessidade do posterior encamisamento da parte inferior dos furos deixados inicialmente sem revestimento, devido, em geral, às seguintes causas (Graça, 2012):

(i) Constatação de episódios de instabilização posterior do furo pelo facto do contacto com a água e da descompressão ao longo do tempo contribuir para a instabilização das paredes da captação;

(ii) Turvação da água captada devido à entrada de materiais finos, siltosos ou argilosos, provenientes quer da degradação do maciço por contacto com a água (em geral nas formações xistentas) quer da lavagem dos materiais finos que se encontram acumulados nas fracturas do maciço por onde circula a água;

(iii) Infiltração de águas sub-superficiais devido à deficiente penetração da tubagem de revestimento no maciço rochoso são e pouco fracturado ou devido ao insuficiente isolamento por selagem da coluna de revestimento dos níveis de águas indesejados.

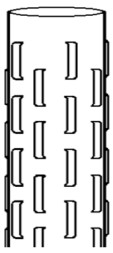
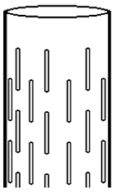
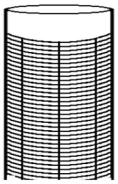
7.5.1. Tubagens de revestimento mais utilizadas (Graça, 2012)

Os materiais mais utilizados em Portugal como tubagem de revestimento para furos de captação de água mineral natural são o aço inox e o PVC (policloreto de vinil). Revestimentos em ferro galvanizado ou aço preto macio não são utilizados em furos de água mineral, uma vez que são muito susceptíveis à oxidação e, consequentemente, a uma rápida degradação da coluna de revestimento e da própria captação, limitando-se a sua aplicação a tubagens de isolamento intercalar associadas à cimentação durante a fase de perfuração. A opção quanto ao tipo de material a utilizar como tubagem de revestimento, aço inox ou PVC, num furo de captação de água mineral ou de nascente, depende de um conjunto de diversos factores cuja ponderação deverá ser cuidada tendo em conta os prós e os contra apresentados e as características do projecto, das formações geológicas e da própria água (Graça, 2012). De entre os factores que influenciam a decisão entre aço ou PVC contam-se os seguintes (Graça, 2012): (i) Profundidade a atingir pela coluna de revestimento; (ii) Temperatura da água; (iii) Diâmetros do furo; (iv) Dimensão do espaço anelar; (v) Extensões dos sectores a cimentar; (vi) Tipo de água em termos de agressividade e de sais minerais; (vii) Presença de ferro bactérias no aquífero a captar; (viii) Disponibilidade de meios técnicos; (ix) facilidade de instalação; e, obviamente, (x) os custos associados.

7.5.2. Tubos-ralo (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Os tubos-ralo correspondem a tubagens de revestimento com aberturas (ralos) para permitir a entrada de água do aquífero para o interior do encamisamento da captação, com isenção de material granular. Este tipo de tubagem é colocado, ao longo da tubagem de encamisamento, nos sectores em frente aos níveis aquíferos que se pretendem captar. Os tramos de tubos-ralo devem ser projectados com particular atenção, pois o rendimento da captação depende da correta selecção do seu tipo, dimensão e posicionamento. Além das características que são comuns aos tubos cegos (composição, diâmetro e espessura da tubagem) há ainda outras a ter em conta, (i) a área aberta total; (ii) o tamanho e a geometria das ranhuras; (iii) o caudal específico dos tubos-ralo; (iv) a resistência à compressão; (v) a oxidação e corrosão; e (vi) a facilidade de desenvolvimento e limpeza da captação são características essenciais á disponibilidade de caudais da captação, bem como ao custo de exploração (Ferreira et al., 2012). O quadro 4 apresenta os tipos de tubos ralo mais utilizados em Portugal nos furos de captação de água mineral ou de nascente e as suas condições de aplicação.

Quadro 4. Tipos de tubos ralo mais utilizados em Portugal nos furos de captação de água mineral ou de nascente (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Tubos ralo mais utilizados em Portugal nos furos de captação de água mineral ou de nascente		
Tipo de tubo	**Condições de aplicação**	**Ilustração**
Tubos ralo com fiadas de rasgos horizontais	Quando em PVC dificultam a saída de material fino para o interior da captação e consequentemente a limpeza e desenvolvimento quando se observa uma intensa colmatação do maciço drenante, pelo que será preferencial a sua aplicação em furos realizados sem recurso a lamas de estabilização, ou então só nos casos em que estas são aplicadas com densidade muito baixa.	
Ralos verticais em ponte	A forma das saliências que possuem para o exterior impõe o fluxo de entrada da água lateralmente e não radialmente. Esta geometria dos ralos dificulta as acções de limpeza e desenvolvimento posteriores, uma vez que não existe acção directa (também radial) das operações de limpeza e desenvolvimento sobre o maciço. Para além do mencionado, também não facilita a saída de material fino para o interior da captação permitindo a colmatação do maciço drenante. Pelo exposto, este tipo de tubo ralo não deve ser aplicado em captações perfuradas com recurso a lamas de estabilização, ou então, quando estas são aplicadas, a sua densidade deve manter-se muito baixa. A sua aplicação é mais indicada para aquíferos sedimentares com granulometrias grosseiras e em aquíferos associados a formações rochosas com reduzida percentagem de material fino.	
Ralos com rasgos verticais ou em arco	São apenas produzidos em ferro ou aço inox, podendo o seu custo constituir um forte condicionamento. Em geral as aberturas são médias a elevadas, sendo condicionados a formações sedimentares grosseiras a muito grosseiras ou a maciços rochosos, implicando a utilização de material granular no maciço drenante de dimensão generosa. Contudo, as aberturas significativas e a geometria que possuem permitem a limpeza e desenvolvimento do maciço drenante e o desenvolvimento do aquífero envolvente de forma relativamente fácil.	
Ralos de fio trapezóidal ou triangular contínuo em espiral (ralos tipo Johnson)	Apresentam uma elevada área útil de aberturas por metro linear, uma elevada resistência à compressão, possuem uma reduzida espessura, a geometria das secções de fio enrolado evita o seu entupimento, permite uma mais fácil limpeza do maciço drenante e desenvolvimento do aquífero envolvente, proporcionam a passagem de débitos elevados, e a fácil entrada da água para o interior da captação com reduzidas perdas de carga. O custo destes tubos-ralo em aço inox poderá constituir um condicionamento à sua aplicação.	

7.5.2.1. Localização e extensão dos tubos-ralo (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012)

Os tubos-ralo devem ser colocados em frente das camadas aquíferas mais produtivas (de maior condutividade hidráulica) cuja água tenha a qualidade pretendida para o fim a que se destina e sempre abaixo do nível hidrodinâmico previsto (Carvalho, 1973; Graça, 2012). Caso o topo dos ralos se posicione excessivamente acima do nível hidrodinâmico, além da perda de eficiência da captação e possível arraste de finos para o interior da captação, o contacto alternado do material que os constitui, ora com água ora com ar, provoca a prazo a sua deterioração e, mesmo que os ralos permaneçam imersos, poderá constituir uma zona "morta", sem fluxo de água, favorável ao desenvolvimento de microorganismos e também à eventual entrada de material fino por decomposição do maciço envolvente à zona daqueles ralos (Graça, 2012; Ferreira et al., 2012). Em camadas aquíferas de grande espessura devem intercalar-se tubos fechados com os tubos-ralo para não diminuir a resistência do revestimento e para diminuir o custo da obra.

A melhor relação entre o custo (do tubo-ralo) e o benefício (caudal captado) é obtida (Ferreira et al., 2012): i) Nos aquíferos livres, colocando tubos-ralo a ocupar cerca de metade a um terço da espessura do aquífero; ii) Nos aquíferos confinados, colocando tubos-ralo a cobrir cerca de 80% a dois terços da espessura do aquífero.

7.5.3. Centralizadores das tubagens de revestimento definitivo

Centralizadores (figura 14) são peças flexíveis colocadas em torno das tubagens com a função de centrar a coluna de revestimento no furo, de forma a conservar um afastamento constante entre a coluna de revestimento e a parede do mesmo, evitando o seu encosto à formação geológica e quaisquer possíveis deformações. Assim facilita-se a colocação posterior do seixo calibrado que constitui o maciço filtrante e a adequada selagem das zonas não produtivas (Ferreira et al., 2012).

Figura 14. a) Centralizador em fero com quatro hastes de apoio. b) Centralizador em PVC com três hastes de apoio (Graça, 2012).

A inexistência ou deficiência na aplicação dos centralizadores na coluna de revestimento poderá implicar o encosto da tubagem à parede do furo em vários sectores e a diferentes profundidades, dificultando a introdução do seixo devido à sua acumulação naqueles sectores excêntricos e impedindo a sua progressão em profundidade que, consequentemente poderá originar zonas de vazios no maciço drenante. Se o encosto da tubagem à parede do furo ocorrer ao nível de um tubo ralo, a função do maciço drenante será praticamente eliminada no sector em que se verificar o encosto da tubagem. No caso do encosto da tubagem à parede do furo se verificar num sector que deve ser isolado por selagem, tal implicará uma menor protecção da coluna pelo selante, uma vez que parte do sector encostado ficará em contacto directo com a parede do furo, sem ser envolvido pelo selante, resultando na diminuição da zona de protecção envolvente da tubagem naquele sector. Atente-se que o encosto da tubagem às paredes do furo não decorre apenas da excentricidade do furo, ou da sua falta de verticalidade e linearidade. As tubagens de revestimento apresentam sempre uma flexibilidade significativa, pelo que é natural que se verifique o encosto das mesmas mesmo em furos com elevada verticalidade e linearidade quando não são aplicados centralizadores (Graça, 2012).

7.6. Maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Após a instalação do revestimento do poço prossegue-se com a construção do maciço drenante, que consiste no preenchimento do espaço anelar com material granular de granulometria previamente definida e posicionado preferencialmente entre o aquífero a explorar e os tubos ralos. O material que constitui este maciço drenante artificial é designado por areão devido à sua dimensão granulométrica, embora em muitos casos corresponda a um seixo (Graça, 2012).

A construção do maciço drenante apresenta várias funções essenciais ao bom funcionamento da captação, às quais se acumulam vantagens indirectas, podendo-se mencionar (Costa Filho et al., 1998; Custodio & Llamas, 2001; Capucci et al., 2001; Barison, 2009; Ferreira et al., 2012):

(i) Permite o desenvolvimento do maciço envolvente através da saída do material mais fino (argilas, siltes e areias finas) do sector imediato à captação para o interior da mesma na fase de desenvolvimento, objectivando, durante o período de exploração, a captação de água isenta de partículas sólidas;

(ii) Evita ou minimiza a saída de areias finas e argilas do maciço envolvente para o interior do furo durante a fase de exploração, que podem colmatá-lo e provocar avarias na bomba;

(iii) Estabiliza as formações aquíferas;

(iv) Garante suporte estrutural, envolvendo e protegendo os tubos ralo de possíveis desmoronamentos das formações produtoras adjacentes;

(v) Amortece as vibrações da bomba nos momentos de arranque ou de paragem;

(vi) Proporciona um bom suporte ao material isolante que reveste o furo;

(vii) Aumenta o diâmetro efectivo da captação, aumentando a área de captação. Aumentando-se o diâmetro diminui-se a velocidade de entrada da água e consequentemente o risco de erosão interna do maciço drenante e do aquífero nas imediações da captação;

(viii) Permite que a água entre na captação sem perdas de carga excessivas, o que diminui o rebaixamento e, consequentemente aumenta o caudal específico (aumenta a eficiência da captação), o que proporciona a possibilidade de diminuição da extensão da camara de bombagem e da potência da bomba para elevar a água.

A construção do maciço drenante não é necessária a todas as captações. A sua aplicação depende do material geológico constituinte dos aquíferos, como menciona o quadro 5. Apesar do indicado no quadro 5, a grande maioria dos furos de água mineral ou de nascente, em Portugal Continental (pormenores, por exemplo, Carvalho, 1996, 2006; Carvalho et al., 2005, 2007), foram construídos com um maciço drenante mesmo no caso de captações em maciços rochosos pouco alterados a sãos. Esta opção decorre por facilitar a construção do sector de isolamento (com calda de cimento ou argila), que utilizará o maciço drenante como base de suporte.

Quadro 5. Necessidade de aplicação do maciço drenante segundo a constituição geológica dos aquíferos (Graça, 2012).

Necessidade de aplicação de maciço drenante segundo a constituição geológica dos aquíferos	
Formação produtiva	**Necessidade de aplicação de maciço drenante**
Formações sedimentares granulares incoerentes com apreciável percentagem de materiais finos	A aplicação de maciço drenante é fundamental. Caso contrário ocorrerá erosão interna da camada aquífera e o arrasto de partículas finas (argila, silte e areia fina) em quantidade considerável para o interior da captação durante o período de exploração. Perante este tipo de formações, e sem a aplicação de maciço drenante, a operação de desenvolvimento não surtirá efeito, visto que a fracção granulométrica em redor da captação não dispõe características para formar um maciço com capacidade filtrante.
Sedimentos maioritariamente grosseiros	A aplicação pode ser dispensada, sendo os ralos colocados directamente em contacto com as formações envolventes. Após a operação de desenvolvimento de um maciço constituido por material maioritáriamente grosseiro, seja ele heterogéneo ou homogéneo, resulta, nas imediações da captação, um maciço constituído pelo próprio material do aquífero com distribuição granulométrica capaz de conferir capacidade filtrante.
Maciços rochosos medianamente a muito alterados	Poderá verificar-se a necessidade de aplicação de maciço drenante. Os produtos de alteração de alguns sectores destes maciços funcionam como um meio com percolação por porosidade, como por exemplo os saibros graníticos, ocorrendo fracções significativas de materiais finos que se torna necessário filtrar.
Maciços rochosos sãos a pouco alterados e pouco fracturados	Pode-se dispensar a aplicação do maciço drenante, sendo os ralos aplicados directamente contra o maciço. Aliás, poderá até nem ser necessário proceder à colocação de tubos ralo, construindo-se a captação em open hole, como já descrito anteriormente. Nestes maciços rochosos os materiais finos correspondem em geral a materiais de preenchimento das fracturas, os quais são removidos da zona de influência do furo durante a fase de desenvolvimento da captação.

A aplicação de tubos-ralo pré-fabricados com areão colado (figura 15), em detrimento da construção do maciço drenante, não se recomenda devido à toxicidade associada às colas aplicadas. Além disso torna-se difícil o desenvolvimento de um material em que as partículas do maciço drenante não são móveis, sendo susceptíveis a entupimento. Por outro lado, como o maciço drenante colado só se encontra acoplado aos tubos ralos nos sectores dos ralos, torna-se difícil o preenchimento dos sectores remanescentes do espaço anelar (Graça, 2012).

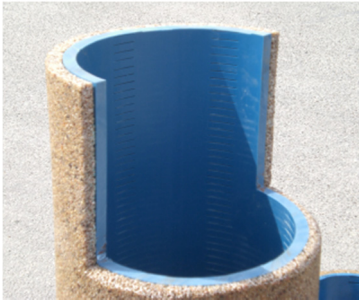


Figura 15. Tubo-ralo em PVC pré-fabricados com areão colado (Tubofuro. Tubos em PVC S.A.).

7.6.1. Características do maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998; Ferreira et al, 2012; Graça, 2012)

Os tramos de maciço filtrante devem compreender a deposição perfeitamente acamada e contínua do areão, resultando uma coluna de maciço drenante uniforme (Graça, 2012). O maciço drenante deve apresentar homogeneidade ao longo de toda coluna que constitui, bem como uma permeabilidade muito maior que a da formação natural que se pretende controlar, para que o fluxo de água se proceda através dele quase sem perda de carga adicional (Costa Filho et al., 1998). O material deverá ter uma composição inerte (preferencialmente de natureza siliciosa) de

modo a não ser afectado por fenómenos de dissolução ou assimilação e apresentar uma resistência suficiente que impeça o seu esmagamento ou deterioração devido às cargas envolventes (Graça, 2012).

A percentagem de calcário admissível no material constituinte do maciço drenante é de 5%. Esta é uma regra importante pois, para além da possível dissolução natural deste material com a água a captar, se mais tarde for necessário recorrer a um tratamento com ácido para os ralos, a maior parte da energia dissolvente será consumida no material calcário do maciço drenante (Costa Filho et al., 1998).

Genericamente, apontam-se algumas indicações construtivas para o maciço drenante (Graça, 2012), (Ferreira et al, 2012):

(i) O material constituinte deve ser devidamente lavado, calibrado e com esfericidade e arredondamento elevados. Características que preconizam uma maior porosidade e permeabilidade, e uma menor separação hidráulica das partículas quando o material é descido através de uma considerável profundidade de água;

(ii) A espessura eficaz deve compreender, regra geral, de 3” a 5”, nunca inferior a 2,5”, circundando os tubos-ralo de forma contínua. Maciços filtrantes demasiado espessos dificultam o desenvolvimento da captação e exigem maiores diâmetros de perfuração, aumentando o custo da obra. Maciços filtrantes demasiado finos podem não rodear os tubos-ralo de forma contínua, originando problemas de arrasto de partículas finas durante a fase de exploração da captação;

(iii) A extensão deve abranger a totalidade da extensão dos níveis aquíferos captados e do conjunto de ralos e, caso se verifiquem grandes extensões lineares entre ralos consecutivos, será preferível proceder à cimentação dos espaços entre sectores produtivos, visto que extensos sectores de tubo fechado envoltos por maciço drenante apenas favorecem o alojamento de microorganismos. Além disso, a cimentação intercalar entre ralos proporciona o isolamento de níveis com composição química indesejada que não foi possível detectar durante a fase de perfuração e construção.

7.7. Limpeza e Desenvolvimento (Costa Filho et al., 1998; Capucci et al., 2001; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Todo o método de perfuração altera as características hidráulicas das formações aquíferas na área adjacente à captação, obstruindo os poros/fracturas da formação aquífera em torno do furo aberto, em maior ou menor extensão (Capucci et al., 2001). Se uma quantidade apreciável de resíduos de furação, ou as lamas de estabilização, não forem removidos adequadamente do furo, do maciço drenante, ou mesmo do aquífero, a produtividade da captação poderá ficar comprometida, tendendo a ser menor do que o desejável e do que o possível. Os trabalhos de limpeza e desenvolvimento da captação têm por objectivo remover aqueles materiais remanescentes e promover a libertação dos materiais finos naturais do aquífero nas proximidades da perfuração, de modo a evitar o arraste de finos, alta turbidez e criar, em torno do furo, uma zona de fácil percolação da água subterrânea (Graça, 2012).

As operações de limpeza e desenvolvimento da captação têm como objectivos (e.g., Costa Filho et al., 1998; Capucci et al., 2001; Ferreira et al., 2012; Graça, 2012):

a) No decurso da operação de desenvolvimento:

(i) Remover as lamas de estabilização ou os resíduos de furação do interior do furo, dos ralos, do interior do maciço drenante e, eventualmente, do próprio aquífero, no sentido de facilitar e incrementar o afluxo de água do aquífero para o interior da captação;

(ii) Desobstruir os poros/fracturas do aquífero, restabelecendo, na envolvente da captação, as suas propriedades hidráulicas iniciais que foram alteradas pela operação de perfuração;

(iii) Criar e incrementar fluxos de água do aquífero para o interior do furo e vice-versa, na zona envolvente da captação, com o objectivo de provocar o arraste dos materiais mais finos nos maciços sedimentares detríticos envolventes;

(iv) Promover a lavagem e a desobstrução das fracturas nos maciços rochosos através do arraste dos materiais de enchimento das mesmas (em geral de natureza silto argilosa), ou eventualmente, das lamas de estabilização aplicadas na fase de perfuração que tenham penetrado no interior do maciço envolvente;

(v) Soltar das paredes do furo e trazer à superfície fragmentos de rocha, que podem, se não forem retirados previamente, causar danos ou entupimentos e colmatações durante a fase exploração.

b) Finda a operação de desenvolvimento:

(i) Aumentar a porosidade e a permeabilidade em redor do furo, e consequentemente, aumentar o caudal específico do furo e reduzir as perdas de carga na zona de entrada da água na captação;

(ii) Evitar o arrastamento de materiais finos para o interior da captação, sendo minimizados os danos na bomba e nas condutas de elevação e distribuição de água.

(iii) Evitar, por arraste de finos, a colmatação do furo a partir do fundo ou a colmatação do maciço filtrante;

(iv) Produzir, com o maior rendimento possível, água limpa e sem material fino em suspensão (turbidez).

O desenvolvimento e limpeza das captações é em geral mais fácil em furos realizados com o método por percussão pneumática em maciços rochosos sãos a pouco alterados, sendo por oposição mais moroso e complexo nos furos executados pelo método de rotação com lamas de estabilização densas sob circulação directa (Graça, 2012). No caso de furos realizados em maciços não-consolidadas mas constituídos por material granular não é uniforme, o desenvolvimento natural (figura 16) é possível, desde que não se aplique maciço drenante, embora seja um processo mais demorado.

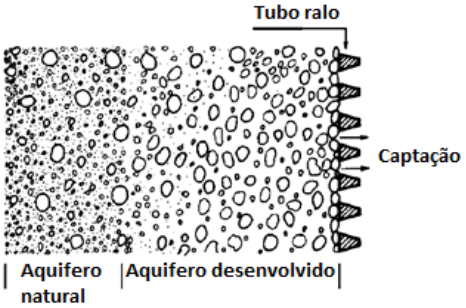


Figura 16. Estrutura do material geológico do aquífero após desenvolvimento quando não se utiliza maciço filtrante (Costa Filho et al., 1998).

O benefício do desenvolvimento em rochas não-consolidadas é melhor entendido observando-se o que ocorre nas zonas cilíndricas que circundam os tubos-ralo (figura 17). Numa primeira zona exterior, mais próxima ao revestimento, o desenvolvimento remove todas as partículas menores que as aberturas dos ralos. Um pouco mais para fora, alguns grãos de tamanho médio permanecem misturados com os grossos. Além, o material vai se graduando progressivamente, até retornar à característica da formação aquífera original. Criando esta sucessão de zonas graduadas em torno dos ralos, o desenvolvimento estabiliza a formação de modo a cessar o movimento de finos para o interior da captação, permitindo fornecer água isenta de areia. Já nas

rochas consolidadas, o desenvolvimento actua limpando e desobstruindo as fendas e fracturas por onde circula a água, sendo neste caso, normalmente, menos complexo e menos demorado. Os trabalhos de desenvolvimento, portanto, são fundamentais para o perfeito acabamento da captação do tipo furo (Costa Filho et al., 1998).

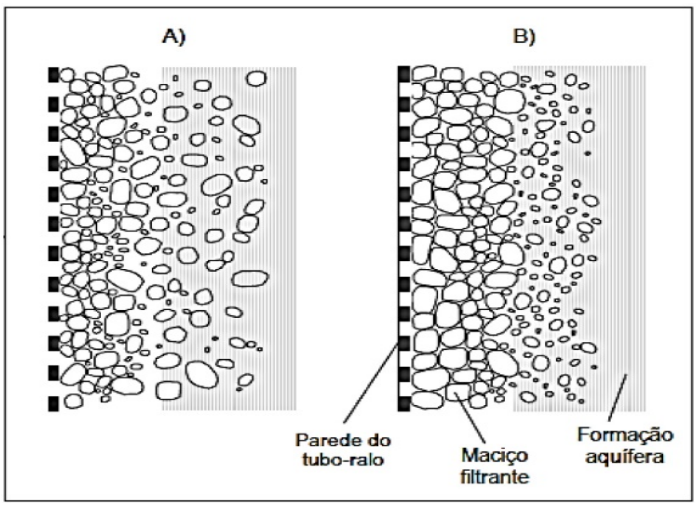


Figura 17. Manual furos captação água – A) Zona da captação antes do desenvolvimento; B) Zona da captação após desenvolvimento, com material mais grosseiro e uniforma junto à parede exterior do revestimento (Ferreira et al., 2012).

7.7.1. Métodos de desenvolvimento (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012)

Os métodos de desenvolvimento de captações podem ser hidromecânicos ou químicos. A selecção do tipo de método a empregar depende do modo de construção da captação e do tipo de aquífero (Ferreira et al., 2012). O desenvolvimento e limpeza da captação visa basicamente desentupir os sectores parcial, ou totalmente colmatados, no sentido de se obter com a desobstrução um maior afluxo de água ao furo e, consequentemente, incrementar a sua eficiência e o seu caudal específico. Para conseguir o referido desentupimento dos sectores, os métodos hidromecânicos, através de operações de injecção de ar comprimido, de água sob pressão e de extracção de água por aspiração ou por bombagem, tratam de conseguir o arraste do material fino responsável pela colmatação através de uma circulação rápida da água nas imediações da captação, preferencialmente entrando e saindo da captação para romper a armação das partículas em “arco de ponte”.

Como evidenciado na figura 18, pequenas partículas podem estruturar-se em arco quando entre outras maiores ou quando entre as ranhuras dos ralos devido ao fluxo num único sentido. Invertendo-se o sentido de escoamento por uma acção alternada de fluxo e refluxo da água, essa tendência é superada: no refluxo, os arcos são desfeitos; no afluxo, o material fino é movimentado para dentro da captação, sendo removido posteriormente (Costa Filho et al., 1998; Graça, 2012).

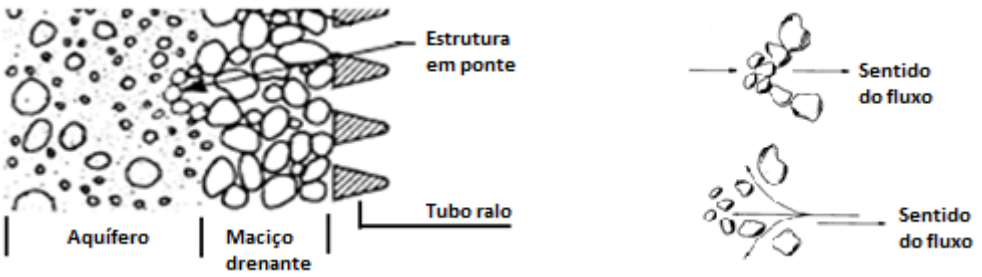


Figura 18. À esquerda, estrutura em ponte desenvolvida pelas partículas do maciço. À direita, formação de estruturas em ponte na ilustração superior, e na ilustração inferior destruição de estruturas em ponte provocada pela reversão do fluxo da água (Costa Filho et al., 1998).

Aquando da construção de uma captação os métodos hidromecânicos podem ser complementados pelos métodos químicos, com vista à dispersão e desfloculação das lamas de estabilização por forma a facilitar a sua remoção. Já durante a fase de exploração, a aplicação de métodos químicos visa dispersar possíveis aglomerados de argila que possam ter-se acumulando nos ralos e filtro drenante, e dissolver eventuais incrustações presentes nos ralos ou material geológico precipitado nos poros/fracturas, que impedem ou dificultam o afluxo da água ao interior da captação. Outra aplicação de desenvolvimento por métodos químicos prende-se à dissolução da rocha do próprio maciço, desta feita com o intuito de aumentar a permeabilidade natural nas imediações da captação (Ferreira et al., 2012; Graça, 2012). Após o desenvolvimento por métodos químicos torna-se necessário aplicar de novo os métodos hidromecânicos para promover, uma vez mais, a mobilização e extracção dos resíduos acumulados (Graça, 2012).

7.7.2. Planificação da limpeza e desenvolvimento (Graça, 2012)

O processo de desenvolvimento deverá ser iniciado de forma suave, progredindo gradualmente para intervenções e métodos mais energéticos. Antes da execução dos trabalhos de desenvolvimento deverá proceder-se à realização de uma endoscopia ao longo de todo o furo, para avaliar o grau de turvação da água, o estado de limpeza da captação, o grau de colmatação dos ralos, e a extensão de resíduos ou lamas acumuladas na base da coluna de revestimento. Só em função desta informação inicial é que se deverá programar a sequência específica dos trabalhos de limpeza e desenvolvimento. Nesta fase preliminar deverá ser realizado um ensaio de bombagem, geralmente com extracção através da injecção de ar directo, para avaliar as características hidráulicas da captação antes da sua limpeza. Durante o processo de limpeza e desenvolvimento da captação deverá proceder-se à verificação da variação de caudais e da quantidade de areia na água captada, de modo a avaliar-se a eficiência do maciço drenante (Graça, 2012).

7.8. Ensaios de caudal (Carvalho, 1973; Driscoll, 1986; Feitosa & Filho, 1998; Custodio & Llamas, 2001; Sterrett, 2007; Ferreira et al., 2012)

Os ensaios de caudal representam a forma de maior garantia para a determinação dos parâmetros hidrodinâmicos dos aquíferos na área envolvente aos furos e para a verificação da eficiência da construção das obras de captação de água subterrânea, além de ser uma ferramenta indispensável para a determinação dos caudais de exploração, sendo por isso objectivo da sua

realização (e.g., Carvalho, 1973; Driscoll, 1986; Feitosa & Filho, 1998; Custodio & Llamas, 2001; Sterrett, 2007; Ferreira et al., 2012):

(i) Determinar as características intrínsecas à captação (caudal óptimo de exploração, caudal crítico e caudal específico);
(ii) Optimizar o caudal de exploração e o rebaixamento máximo admissível;
(iii) Avaliar a eficiência, as perdas de carga e o nível de desenvolvimento da captação;
(iv) Seleccionar a bomba submersível adequada e a profundidade de instalação;
(v) Estimar os valores dos parâmetros hidrodinâmicos intrínsecos ao aquífero na área envolvente ao furo, a saber: condutividade hidráulica, transmissividade e coeficiente de armazenamento, sendo que a determinação deste último só é possível com a medição de níveis num piezómetro próximo);
(vi) Identificar eventuais efeitos barreira (positivos ou negativos).

Um ensaio de caudal é uma operação que consiste na bombagem de uma captação, com electrobomba submersível, durante um certo intervalo de tempo e o registo dos caudais de extracção e respectiva evolução dos rebaixamentos, resultando um relatório de execução, o qual para correcta análise deve apresentar (e.g., Carvalho, 1973; Driscoll, 1986; Feitosa & Filho, 1998; Custodio & Llamas, 2001; Sterrett, 2007; Ferreira et al., 2012):

(i) Localização da captação;
(ii) Indicação da referência ou nome do poço;
(iii) Profundidade da captação;
(iv) Raio da captação;
(v) Tipo de aquífero;
(vi) Profundidade do chupador da bomba;
(vii) Profundidade do nível mais produtivo;
(viii) Distância entre a superfície do terreno à boca do tubo de revestimento acima do solo;
(ix) Caudais de extracção, com indicação do horário em que se alteraram os caudais de extracção em caso disso;
(x) Nível estático antes do início do ensaio;
(xi) Evolução do nível dinâmico em função do tempo;
(xii) Data de início e fim do ensaio (ano, dia, mês e ano);
(xiii) Indicação de possíveis fontes de recarga superficial dos aquíferos (rios, lagos, etc.) existentes nas imediações, respectivo nível da água e data (ano, dia, mês e hora) das medições efectuadas;
(xiv) Todas as informações julgadas pertinentes com referência ao tempo em que foram detectadas, como: características físicas da água (turbidez, passagem de areia); operações realizadas (ensaios de caudal, passagem de uma etapa a outra); problemas no equipamento de bombagem durante o ensaio; falta de energia eléctrica; altura do referencial onde foram feitas as medidas etc.

Para tal, exige-se o recurso a dispositivos de medida que permitam o controlo dos caudais bombeados e a medição dos níveis hidrodinâmicos (ou dos rebaixamentos dos níveis de água a partir do nível hidrostático) de acordo com o disposto na figura 19 (Costa Filho et al., 1998; Ferreira et al., 2012).

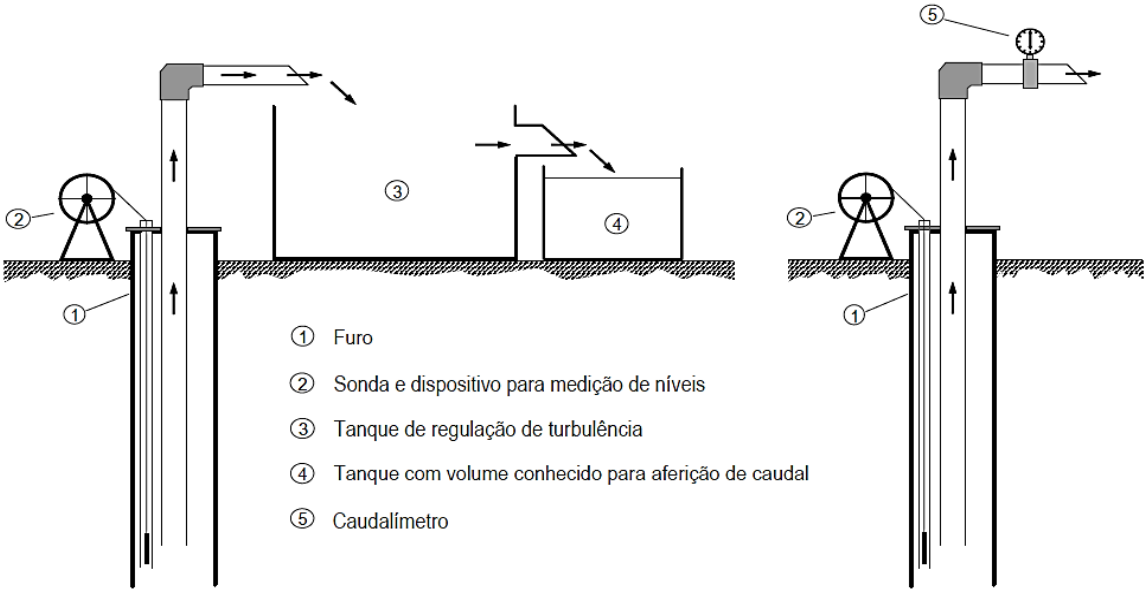


Figura 19. Dispositivo de medição de níveis e dispositivos de medição de caudal com tanque de aferição ou com caudalímetro (Ferreira et al., 2012).

7.8.1. Metodologia para realização de ensaios de caudal

O caudal de extracção do ensaio deve ser determinado antecipadamente para que não se exceda a potencialidade da captação, mascarando o resultado do ensaio. A sua obtenção, bem como a previsão dos níveis hidrodinâmicos para o tempo de bombagem previsto, é possível durante a etapa de desenvolvimento da captação ou, através de um ensaio preliminar expedito de curta duração (de uma a três horas) realizado pelo menos 24 horas antes do início do ensaio de caudal, o que proporcionará a vantagem acrescida de permitir a calibração do equipamento de medição utilizado (*e.g.*, Feitosa & Filho, 1998; Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001; Sterrett, 2007; Fetter, 2014).

Antes de iniciar o ensaio de caudal é sempre medido o nível hidrostático (de preferência 3 medidas de meia em meia hora a fim de se certificar a posição do nível hidrostático) no interior do furo e, se possível, num piezómetro ou noutros furos próximos que captem nos mesmos níveis aquíferos. Posteriormente, durante a fase de extracção, é medida a evolução do nível hidrodinâmico (rebaixamentos) em função do tempo de bombagem, registando-se os caudais, tempos e níveis. Após a cessação da bombagem, da mesma forma, deverão também ser registados os níveis hidrodinâmicos de recuperação (ascensões) para avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. A água extraída durante o ensaio deve ser lançada o mais longe possível da captação, a fim de não mascarar os resultados do ensaio por infiltração e consequente retorno ao aquífero. Esta distância só pode ser fixada em função do tipo de aquífero (livre ou confinado) e da sua constituição litológica. A distância mínima recomendada para os casos mais favoráveis é de 25 metros. Nos casos de captações a explorar aluviões ou rochas fissuradas esta distância deve ser maior (pode superar os 300 metros), (Feitosa & Filho, 1998; Ferreira et al., 2012). Ao final de cada ensaio deverá ser colhida uma amostra de água e enviada imediatamente ao laboratório para a realização de análise físico-química completa (Feitosa & Filho, 1998).

Os ensaios de caudal podem ser de dois tipos (*e.g.*, Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001; Pires de Carvalho, 2002; Sterrett, 2007; Ferreira et al., 2012; Fetter, 2014):

a) Ensaios Escalonados (a caudal variável)

Tem a finalidade de avaliar o caudal de exploração e a eficiência da captação através das perdas de carga. São efectuados por escalões crescentes de caudal (figura 20), podendo decorrer com recuperação de níveis entre cada escalão, ou de modo contínuo, sem paragem da bomba (recuperação) aquando do aumento de escalão. O número de escalões poderá variar entre três (para o cálculo da eficiência da captação e do caudal crítico em regime laminar) e cinco (para o cálculo descriminado das perdas de carga da captação em regime laminar e turbulento) sendo conveniente que todos tenham a mesma duração de bombagem.

b) Ensaio a Caudal Constante ou ensaio final

Só deve ser efectuado após a interpretação dos ensaios escalonados. É conduzido a um caudal constante, próximo do caudal de exploração futuro calculado com base nos ensaios escalonados, e deve desenvolver-se até atingir o regime de equilíbrio (figura 21). Este tipo de ensaio permite avaliar a resposta ao caudal de exploração definido bem como os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero. Em ambos os casos anteriores é muito importante que sejam verificadas as condições de equilíbrio hidrodinâmico da área, e as captações na envolvente devem ser mantidas em repouso e monitorizados por um período contínuo de 24 horas. Dependendo da situação, numa área bastante perturbada por influência de extracções de outras captações, a execução de um ensaio escalonado pode tornar-se impraticável, mesmo com etapas curtas (Lima et al., 2001).

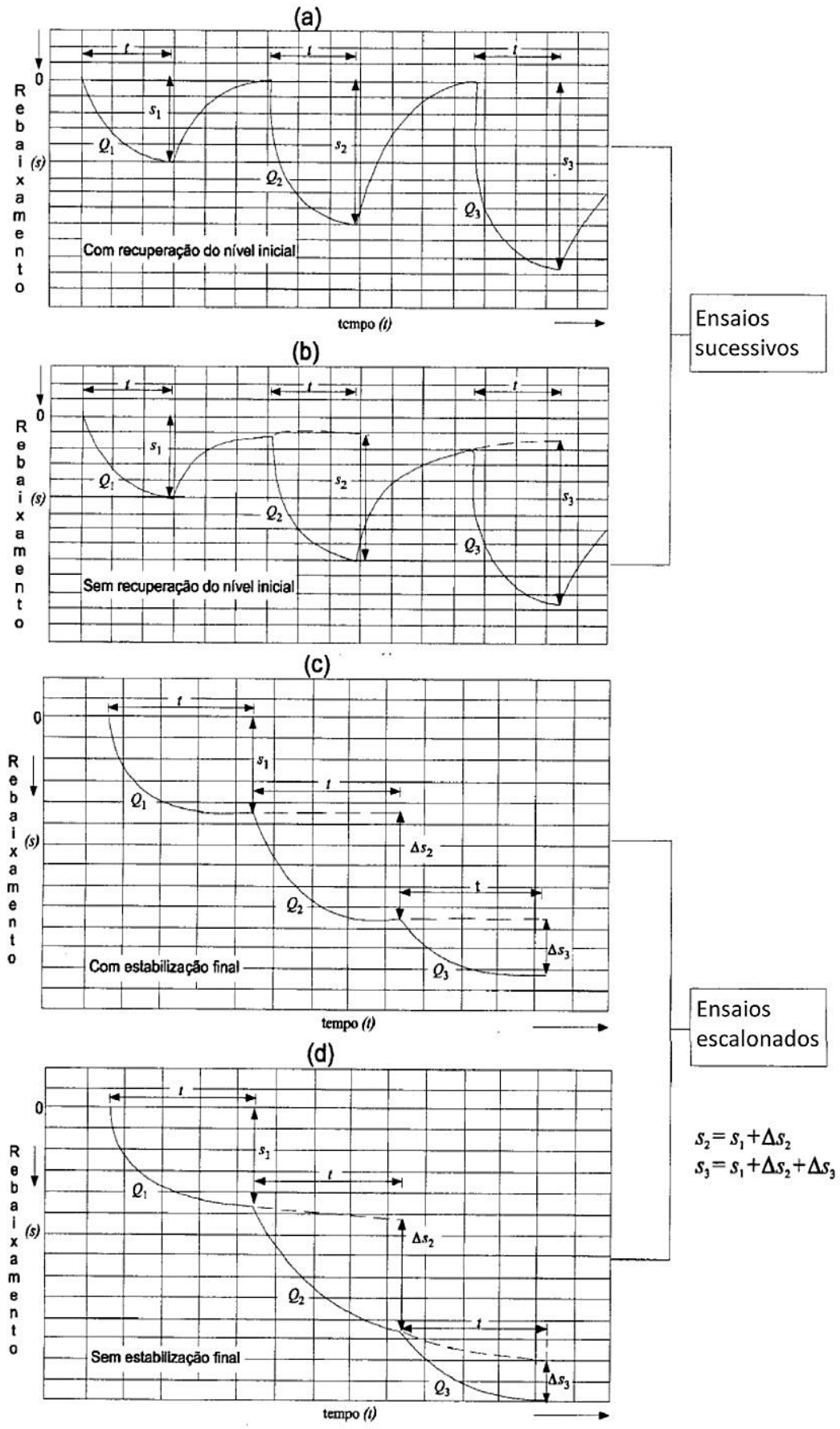


Figura 20. Curvas rebaixamento X tempo referentes a ensaios de caudal escalonados com e sem recuperação (Feitosa & Filho, 2000).

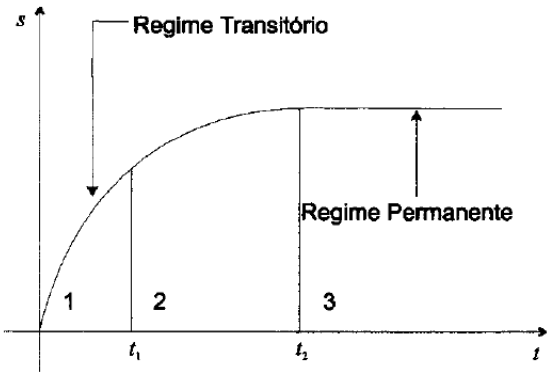


Figura 21. Curva rebaixamento X tempo mostrando o comportamento do regime transitório e do regime permanente (Feitosa & Filho, 2000).

7.8.2. Eficiência da captação (Feitosa & Filho, 2000; Pires de Carvalho, 2002; Jorba & Rocha, 2007; Sterrett, 2007)

A eficiência de uma captação é definida pela razão entre o caudal específico teórico e o caudal específico real, ambos referidos a um tempo igual de bombagem. Para o cálculo do rebaixamento teórico é necessário conhecer os coeficientes transmissividade (T) e armazenamento (S) do aquífero e o raio efectivo da captação, mediante ensaio de bombagem com recurso a piezómetros. Em situações reais bastante frequentes não se dispõe de piezómetros, e consequentemente não se conhece os parâmetros do aquífero necessário à determinação do rebaixamento teórico. Nestes casos, a eficiência da captação, assim como o caudal de exploração, podem ser calculados através dos resultados do ensaio de caudal (Lima et al., 2001 ; Jorba & Rocha, 2007).

A construção de uma captação, bem como os meios de elevação da água, perturbam o fluxo, não só no interior da obra mas também num pequeno raio à sua volta. Devido àquela perturbação, que se traduz em perdas de carga, o rebaixamento real medido num furo em extracção é um somatório dos rebaixamentos devidos às perdas de carga no aquífero e às perdas de carga na captação, sendo o sobre-rebaixamento produzido pelas perdas de carga no furo o resultado da soma dos seguintes factores (e.g., Feitosa & Filho, 2000; Custodio & Llamas, 2001; Pires de Carvalho, 2002; Jorba & Rocha, 2007; Sterrett , 2007; Fetter, 2014): i) Perdas de carga em torno da captação, devido ao aumento de velocidade da água na passagem pelo aquífero, pela zona periférica à captação, pela zona de transição do maciço filtrante devido à penetração parcial do aquífero, e pelos ralos. Este tipo de perda pode ser significativo em furos com tubos ralo subdimensionados, ou mal desenvolvidos; ii) Perdas de carga axiais, devidas à ascensão da água no interior da captação desde os tubos-ralo até a bomba. Este tipo de perda só é significativo quando essa distância é grande ou quando o diâmetro da coluna de revestimento é pequeno para o caudal extraído; iii) Perdas de entrada na bomba, quando o espaço entre o corpo da bomba e a parede do revestimento é muito pequeno.

Desta forma, a eficiência de uma captação é dada pelo valor das perdas de carga associadas ao fluxo de água na própria captação e na zona que lhe é adjacente (excluindo o fluxo no aquífero a nível regional), sendo obtida pela relação entre as perdas de carga naturais do aquífero e as perdas totais ocorridas durante a bombagem (Feitosa & Filho, 2000; Pires de Carvalho, 2002).

O valor da eficiência permitirá verificar se o desenvolvimento foi ou não bem efectuado e se a captação foi ou não bem dimensionada, considerando-se como satisfatório valores de eficiência superiores a 80%. Para valores inferiores é considerada turbulência exagerada no afluxo da água

desde o aquífero até à bomba de extracção, o que poderá derivar do mau desenvolvimento da captação, contendo demasiados finos em torno dos tubos ralo, ou mau dimensionamento (Pires de Carvalho, 2002).

7.8.3. Definição do caudal de exploração (Carvalho, 2006)

Na pesquisa e captação em rochas cristalinas, realizada geralmente com percussão pneumática a martelo de fundo de furo, com circulação directa, pode falar-se em pelo menos cinco tipos de observações de caudal a saber (Carvalho, 2006):

(i) Caudais de perfuração, que são os caudais instantâneos obtidos durante a perfuração, medidos sempre que há indicações de aumento de caudal (durante a fase de perfuração) e periodicamente durante a limpeza do furo por injecção de ar-comprimido directo;

(ii) Caudal determinado no fim da perfuração para tentar avaliar a produtividade final do conjunto das camadas atravessadas (esta medição de caudal nem sempre corresponde ao caudal máximo de perfuração com o furo em 'open-hole');

(iii) Caudal medido durante e após o desenvolvimento, após entubamento e completamento do furo;

(iv) Caudal (ou caudais) do ensaio de caudal;

(v) Caudal de exploração, definido como o volume de água por unidade de tempo que pode ser extraído de forma sustentável, tendo em conta o dimensionamento da obra (cumprimento das normas de projecto, perdas de carga adicionais resultantes do completamento do furo, etc.), as características da procura, e a correcta gestão do aquífero e do meio envolvente, o que motiva, regra geral, a que o caudal de exploração seja substancialmente mais baixo que os registados durante a perfuração, desenvolvimento e ensaios de caudal finais da captação.

É imperativo que o caudal extraído durante a fase de exploração da captação não ultrapasse o caudal crítico da captação, sob pena de ocorrer, devido ao fluxo da água em regime turbulento, o arraste de partículas granulares para o interior do maciço filtrante e da captação, o que poderá causar o seu envelhecimento prematuro, obrigando necessariamente a realizar operações de manutenção. Perante águas minerais bifásicas (liquido e gás), para além dos problemas mencionados, o afluxo de água em regime turbulento promoverá também a separação da fase líquida da fase gasosa, degradando-se da qualidade físico-química da água.

A definição do caudal de exploração, no caso de furos de captação de águas minerais naturais e de nascente, deve contemplar as condições seguintes (Carvalho, 2006; Antunes da Silva, 2012):

(i) Realização de ensaios de caudal escalonados de curta duração e ensaios prolongados, da ordem de 24 a 72 horas a caudal constante;

(ii) As extracções não devem ultrapassar 70 a 80% dos recursos renováveis;

(iii) Em furos captando apenas na parte superior do maciço, com comportamento próximo de aquífero livre, o rebaixamento não deve exceder 50 a 60% da espessura saturada na captação;

(iv) Em furos que interessem fracturação profunda, com comportamento próximo de aquífero confinado, o rebaixamento deve manter-se acima dos tubos-ralo (caso existam) ou no interior da câmara de captação no caso de furos não entubados, isto é, em open-hole;

(v) Permitir a colocação do grupo electrobomba submersível vários metros abaixo do nível dinâmico;

(vi) Tentar manter os níveis dinâmicos estabilizados (evitar bombagem intermitente), ainda que para isso seja necessário instalar capacidade de armazenamento suplementar à superfície;

(vii) Tentar manter o fluxo laminar na captação (em rochas cristalinas o fluxo já é muitas vezes turbulento, intra-formação) respeitado o critério da velocidade de entrada da água na captação abaixo de 3 cm/s. Esta condição é particularmente importante em águas gasocarbónicas para que não se verifique uma rápida degradação da qualidade físico-química da água;

(viii) Controlar a influência dos caudais e dos rebaixamentos na temperatura, quimismo e qualidade bacteriológica da água;

(ix) A superfície piezométrica do aquífero hidromineral deve ser mantida acima da superfície livre de aquíferos "freáticos", ou da superfície potenciométrica de outros aquíferos, de forma a diminuir riscos de interferência na qualidade química e microbiológica da água mineral natural. Esta condição, porventura considerada excessiva, poderá ser mitigada caso se prove, com controlo analítico adequado, que as condições hidráulicas subterrâneas locais permitem soluções menos penalizantes para as extracções;

(x) Não deve ser feita sobrebombagem relativamente à capacidade do aquífero e ao dimensionamento da captação;

(xi) A nível de gestão global dos sistemas hidrogeológicos deve procurar-se que a exploração não conduza a diminuições irreversíveis das descargas naturais ou dos níveis piezométricos;

(xii) Numa fase posterior, realizar ensaios de caudal escalonados de longa duração. A duração do ensaio pode alcançar vários meses. O próprio Dec- Lei 86/90 de 16 de Março, artigo 16, ao exigir a apresentação de 12 análises químicas e bacteriológicas com periodicidade mensal para que uma água seja considerada água mineral natural implica a necessidade de um controlo temporal muito alargado.

O cumprimento sistemático destas normas leva a uma diminuição drástica de ocorrências negativas ligadas com a qualidade e quantidade da água captada e sua constância no tempo, princípios básicos inerentes à condição de água mineral natural.

O caudal de exploração de uma captação de água subterrânea não é o caudal máximo extraível em termos operacionais, mas antes o que as condições hidrogeológicas, a obra, o enquadramento ambiental, as interacções com outros aquíferos ou corpos de água superficiais, e as imposições legais permitem no seu conjunto. Resulta claro que a fixação do caudal de exploração de uma captação de água subterrânea não corresponde à simples determinação do caudal crítico com um ensaio escalonado. Este caudal crítico poderá ser o valor máximo aceitável em termos puramente hidrodinâmicos, que corresponderá ao caudal de exploração apenas se não houver sobreposição de outras limitações.

A única forma segura de fixar o caudal de exploração é a do seu ajuste de acordo com a monitorização sistemática de extracções, níveis e qualidade. Para tal, os ensaios de caudal chegam a durar um ano hidrológico e o controlo mantém-se sistematicamente durante a operação. Mesmo para usos menos exigentes a duração do ensaio deve ser no mínimo um décimo do tempo total de funcionamento anual. Para obviar surpresas resultantes da margem de incerteza no cálculo dos recursos renováveis, é normal considerar um coeficiente de segurança de 20 a 30% ao estabelecer o limite máximo de exploração de um determinado aquífero. Em Portugal, a prática tem consagrado uma aproximação step-by-step, por avanços sucessivos, na qual o recurso disponível tem sido, passo a passo, ano a ano, aumentado em muitos locais. Trata-se, no fundo, de uma interpretação não sistemática, mas consistente, de um método das extracções escalonadas crescentes (Carvalho, 2006).

7.9. Vistoria (Graça, 2012)

A vistoria da captação realiza-se com recurso à endoscopia, que consiste na filmagem a cores do interior de uma captação de água subterrânea, em tempo real, através da introdução de uma sonda de filmagem no interior do furo. Esta metodologia de visualização e análise do interior do furo é de fundamental importância no acompanhamento da construção da captação, quer para a verificação e confirmação da boa execução dos trabalhos, quer para a detecção de eventuais problemas ou patologias decorrentes de uma inadequada execução (Graça, 2012).

A vistoria com recurso à endoscopia deverá contemplar a análise e registo dos seguintes aspectos (Graça, 2012):

(i) Posição do nível da água no interior do furo e avaliação do grau de turvação ao longo do furo;

(ii) Identificação do tipo de materiais dos tubos fechados (PVC, aço inox ou outros) e registo das respectivas profundidades, incluindo a avaliação do estado de oxidação da tubagem (tubagens em aço inox) e registo das respectivas profundidades em função da respectiva intensidade;

(iii) Avaliação da integridade estrutural da tubagem de revestimento e identificação de eventuais ou potenciais sectores com patologias estruturais, com registos das respectivas profundidades;

(iv) Registo das profundidades do início, do fim e da totalidade da extensão dos tubos fechados, e avaliação do grau de limpeza ao longo do furo;

(v) Identificação e caracterização do tipo de ligações entre tubagens (uniões) e avaliação da sua qualidade de execução;

(vi) Registo das profundidades do início e do fim dos tubos ralos, da totalidade da sua extensão, e avaliação do grau de limpeza e desobstrução dos tubos ralos, registando-se as profundidades dos sectores com diferentes graus de limpeza e desobstrução;

(vii) Registo das profundidades do topo e da base dos cones de redução;

(viii) Avaliação do grau de limpeza da base ou pé da coluna de revestimento;

(ix) Profundidade da base da coluna de revestimento ou do topo dos resíduos eventualmente acumulados na base da tubagem;

(x) Profundidades do início e da base de um eventual sector sem tubagem de revestimento ("openhole");

(xi) Identificação da presença de biofilme, intensidade de ocorrência e respectivas profundidades;

(xii) Identificação de indicadores da presença de ferro bactérias.

De forma geral, a vistoria visa Identificar patologias na captação, com registo das respectivas profundidades e descrição detalhada das suas características, tais como: fissuras ou buracos na tubagem, escorrências ou indícios de entradas de água em sectores de tubo fechado ou através de juntas mal executadas, existência de depósitos de sais em sectores de tubo fechado, roturas nos ralos, assoreamento, deformações da tubagem, obstruções da tubagem, presença de calda de cimento no interior da tubagem, presença de objectos ou materiais caídos ao longo do furo, presença de macrozoários, entre vários outros aspectos que podem ser detectados no decurso de uma endoscopia.

A endoscopia deverá ser complementada com um relatório, no qual deverá constar o levantamento exaustivo sobre a estrutura da captação, uma análise comparativa deste levantamento com o diagrama construtivo final da captação fornecido pelo empreiteiro, a descrição do estado de limpeza da captação e respectivas profundidades, e a indicação e descrição detalhada de eventuais patologias detectadas. As endoscopias não deverão ser realizadas apenas após a conclusão da construção da captação. No decurso da sua construção poderá verificar-se a necessidade da sua realização, como por exemplo, após a realização da cimentação final para verificar se não ocorreram quaisquer entradas de calda para o interior da captação, ou durante as operações de limpeza para avaliar a eficiência das mesmas, entre outras situações (Graça, 2012).

7.10. Desinfecção (Graça, 2012)

Devido à grande quantidade de materiais e produtos introduzidos no interior do furo durante as várias fases de execução é prudente proceder, após o desenvolvimento da captação, caso as primeiras análises bacteriológicas assim o determinem, a uma operação de desinfecção.

Uma operação de desinfecção consiste na injecção no interior da captação, a diversas profundidades, de uma solução bactericida com uma concentração conhecida, a qual deverá permanecer no interior do furo durante um determinado período de tempo, sendo o furo posteriormente bombado, ou aspirado da base para o topo, até que deixe de ser detectado qualquer valor residual do bactericida aplicado. Convém referir que não existem produtos milagrosos no mercado que erradiquem a contaminação. Se a contaminação microbacteriológica persistir após uma ou duas operações de desinfecção haverá que reanalisar as endoscopias realizadas e procurar detectar eventuais deficiências construtivas que possam revelar-se responsáveis pela entrada local de contaminação para o interior da captação, que em geral, tendem a ocorrer ao nível da parte superior da mesma. Caso esta reavaliação complementar não detectar quaisquer patologias ou deficiências construtivas, haverá que encarar o problema não como uma contaminação na captação mas, muito provavelmente, do aquífero, cenário em que de nada adiantará continuar com operações de desinfecção.

Perante o exposto, torna-se necessário distinguir as situações entre uma contaminação microbacteriológica normalmente associada aos trabalhos de execução da captação, que na maioria dos casos é erradicada com uma ligeira desinfecção da captação, e uma contaminação do próprio aquífero, cuja gravidade varia caso a caso, mas que no cenário mais desfavorável poderá não ter solução. A desinfecção da captação deve ter um carácter pontual decorrente da contaminação cruzada associada aos trabalhos construtivos empreendidos, não devendo ser realizada de forma periódica ou sistemática, o que só poderá denunciar problemas de contaminação do aquífero ou deficiente isolamento do furo, apenas contribuindo para a degradação dos materiais da captação (Graça, 2012). Refira-se que todos os equipamentos e tubagens inseridos na captação para as operações de bombagem ou de aspiração da solução bactericida deverão ser previamente desinfectados em solução bactericida, assim como as bombas submersíveis, tubagens de adução e respectivos acessórios a instalar posteriormente no interior da captação para a realização ensaios ou exploração da mesma (Graça, 2012).

7.11. Acabamento (Ferreira et al., 2012)

A organização da zona envolvente à boca do furo deve ser considerada de modo a proporcionar a devida protecção da cabeça da captação e facilitar intervenções futuras. A cabeça do furo deve ficar protegida dentro de uma caixa ou de uma caseta de alvenaria ou betão sobressaindo do terreno ou enterrada (figura 22). Embora importe assegurar o seu arejamento e drenagem eficiente, esta caixa deverá impedir a entrada de qualquer material para o seu interior, incluindo água proveniente do exterior. A tubagem do furo deve sobressair da base da caixa o suficiente para que não sejam dificultadas quaisquer operações de limpeza e manutenção da captação ou de instalação e/ou remoção do equipamento de bombagem para reparação, manutenção ou substituição. A boca do furo deve ficar protegida contra queda de objectos por uma tampa roscada ou justaposta por onde passarão, através de aberturas próprias, a tubagem de extracção de água, cabos eléctricos, cabo de segurança da bomba e cabos de ligação aos sensores internos do furo (Ferreira et al., 2012).

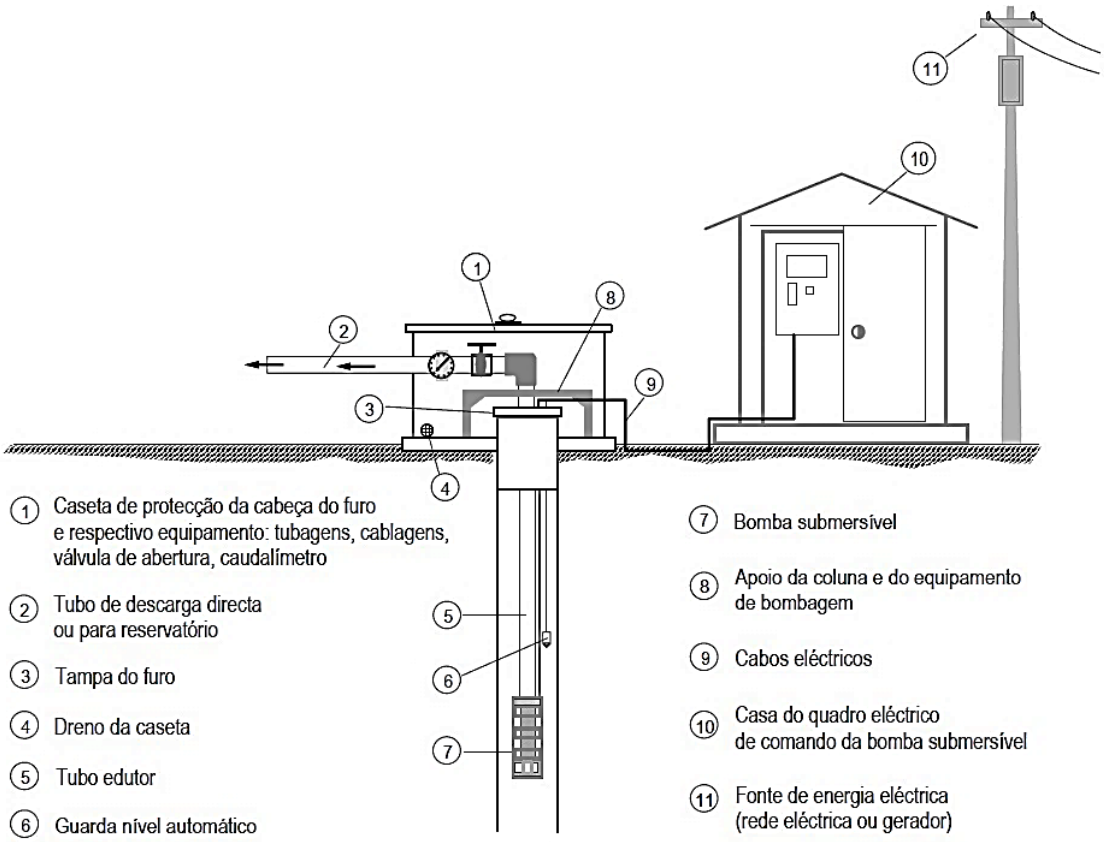


Figura 22. Esquema clássico simplificado do "lay-out" de montagem do equipamento de bombagem e respectivos acessórios de comando e controlo (Ferreira et al. 2012)

8. Equipamento de bombagem (Carvalho, 2006; Ferreira et al., 2012)

Embora o presente documento não se destine a questões relativas à fase de exploração, deixa-se aqui algumas indicações respeitantes à instalação do sistema de bombagem, que inclui a electrobomba, em geral submersível, dispositivos de comando e controle e os respectivos órgãos de adução (Ferreira et al., 2012). As características hidromecânicas da bomba devem obedecer rigorosamente às especificações resultantes do ensaio de caudal, definindo-se o seu dimensionamento com base nos seguintes aspectos (Ferreira et al., 2012): i) Caudal de exploração e nível hidrodinâmico correspondente; ii) Diâmetro da captação (a bomba deve permanecer afastada das paredes da tubagem de revestimento pelo menos 1"); iii) Cota de descarga da água bombeada; iv) Perdas de carga nas condutas de adução e respectivos órgãos acessórios.

O equipamento de bombagem nunca deve ficar apoiado na coluna de revestimento, mas antes num suporte simples que descarregue o peso e as vibrações desse equipamento na soleira da caixa da captação (figura 22). A bomba submersível deve posicionar-se, com alguma margem de segurança, abaixo do nível hidrodinâmico correspondente ao caudal máximo de exploração recomendado e acima dos tubos-ralo, embora, em casos especiais, quando existem vários tramos drenantes, tal poderá não ocorrer em relação a todos os tramos de tubos-ralo (Ferreira et al., 2012). Perante aquíferos de águas gasocarbónicas, a colocação da bomba vários metros abaixo do nível dinâmico é condição particularmente importante, diminuindo o risco de cavitação dos equipamentos de bombagem (Carvalho, 2006). A selecção da potência da bomba deve contemplar o caudal definido para a exploração, nunca permitindo extracções superiores, e evitar ao máximo a bombagem intermitente, ainda que para isso seja necessário instalar capacidade de armazenamento suplementar à superfície. Uma bomba sobredimensionada (mais potente)

provocará o envelhecimento prematuro da captação devido ao arraste de material fino por bombagem excessiva. Esse material fino mobilizado vai preencher os espaços vazios do maciço filtrante, colmatando-o e provocando a redução parcial ou mesmo total do caudal. Por outro lado, o material fino mobilizado que ultrapassa o maciço drenante, alcançando o interior da captação, poderá aceder e circular no interior da bomba conjuntamente com a água que o transporta, podendo causar avarias na bomba e nos equipamentos associados às tubagens de adução (Ferreira et al., 2012).

Todo o equipamento de bombagem deve ser seleccionado em função das características físico-químicas da água, e incluir (Ferreira et al., 2012):

(i) dispositivo guarda-nível colocado 2 a 3 m acima da bomba, desligando-a quando o nível dinâmico da água no furo desce de modo imprevisto abaixo desse dispositivo. Preferencialmente, tal dispositivo deve posicionar-se de acordo a submergência indicada para a respectiva bomba;

(ii) manómetro intercalado na tubagem de condução de água, para controlo da pressão de funcionamento da bomba;

(iii) caudalímetro para controlo dos caudais extraídos;

(iv) outros dispositivos mais específicos previstos no plano de exploração, como por exemplo equipamentos de monitorização da qualidade da água, de níveis (estático e dinâmico), etc.

Parte 3

Enquadramento do caso de estudo

9. *As Caldas de Chaves*

Chaves é uma das mais importantes estações termais da Europa. As termas de fins medicinais, vulgarmente conhecidas por Caldas de Chaves, são a "jóia da coroa" da cidade, tendo uma "importância fulcral" para a economia local, nomeadamente na hotelaria, restauração e comércio.

De origem Romana e com alvará desde 1899, situam-se em plena urbe nos jardins marginais do Tabolado (anexo I), junto às margens do rio Tâmega, e surgem do aproveitamento de uma nascente de água mineral quente reunindo um conjunto de características e propriedades que as tornam únicas.

O espaço circundante, onde se encontra também a buvette, é o complemento apreciado por turistas e aquistas, que procuram o alívio para as suas doenças e stress físico e psíquico.

Se por um lado já é mais que conhecida na sua buvette pública (figura 23) e de recolha livre a solução para as mais variadas digestões difíceis, nos balneários são tratadas as mais variadas maleitas, onde se dispõe de instalações para diagnóstico, mecanoterapia e fisioterapia, electroterapia, crenoterapia e hidroterapia com piscinas e banheiras com hidromassagem computorizada, banhos de vapor, banhos turcos, nebulizações, inalações e aerossóis. (Ribeiro, 2007).

Figura 23. Buvette público e instalações das Termas. (fonte: Oliveira, 2011; Diário de Trás-os-Montes, 2013; Cagido, 2012)

Contudo, toda a tecnologia disponível nos balneários seria ineficiente perante a inexistência de matéria-prima, neste caso, a água mineral. Abastecendo as termas por norma com um caudal diário superior a 300 metros cúbicos, mantendo um aspecto cristalino e translúcido, as águas das Caldas de Chaves, águas bicarbonatadas, sódicas, silicatadas, gaso-carbónicas e hipertermais (73° C), são consideradas únicas.

Com cheiro sensível e deixando um gosto salobro e alcalino, diz-se que quem bebe estas águas nunca esquece.

Estas águas bacteriologicamente puríssimas são consideradas as mais silicatadas do país, as mais quentes da Península Ibérica e as águas bicarbonatadas sódicas mais quentes da Europa. (Miranda & Coelho, 2007-2008; Gomes, 2006)

Com provas dadas em termos médicos, as peculiares propriedades minero-medicinais destas águas relacionam-se com as terapias de diversas patologias (quadro 6), (Ribeiro, 2007; Termas de Portugal, 2014).

Quadro 6. Relação entre as propriedades da água mineral e o tratamento de patologias (Termas de Portugal, 2014).

Relação entre as propriedades da água mineral e o tratamento de patologias	
Propriedade da água	**Terapia de patologias**
Temperatura elevada	Reumáticas e musculo-esquelécticas
Bicarbonatada sódica	Do aparelho digestivo (para além das digestões dificeis)
Gaso-carbónica	Do aparelho respiratório
Silicatada	Dermatológicas

Através da ingestão, banhos e outras técnicas disponíveis nos balneários das Caldas, para além dos tratamentos para as patologias enunciadas, é possível ainda o tratamento de patologias cardio-ciruclatórias bem como tratamentos de manutenção, recuperação física e beleza (Ribeiro, 2007; Termas de Portugal, 2014).

A época termal decorre de 1 de Fevereiro a 15 de Dezembro com uma frequência anual de cerca de sete mil aquistas por períodos de 2 semanas.

Pelo sucesso reconhecido, a procura fez aumentar o investimento e a qualidade dos serviços, fazendo com que tenham sido já distinguidas por três anos consecutivos (2004, 2005 e 2006) com o prémio de Melhor Unidade Termal de Portugal pelo programa Saúde e Termalismo Sénior do INATEL (Miranda & Coelho, 2007-2008; Termas de Portugal, 2014).

A elevada temperatura a que ocorre a emergência termal em Chaves permitiu ainda o desenvolvimento de uma exploração de geotermia, a única existente na região Norte e uma das poucas verificadas no território continental (Rodrigues et al., 2006). Através de um projecto datado de 1982 (Carvalho & Silva, 1988), a água quente que ali ocorre é aproveitada para o aquecimento de equipamentos tão variados como a piscina municipal, uma unidade hoteleira e estufas situadas na envolvência da emergência termal. Actualmente apenas a unidade hoteleira usufrui desta fonte energética (Rodrigues et al., 2006).

9.1. Dados históricos, o impacto das Caldas de Chaves na região desde os tempos Romanos

Foram os romanos que primeiro deram valor às propriedades medicinais das águas de Chaves, sendo estas por eles exploradas há mais de 2000 anos.

Reza a história que as legiões romanas deleitavam-se nas águas ferventes da cidade após as suas incursões bélicas, recuperando forças e tratando das várias maleitas que os atingiam (no corpo e na alma).

Aquando da ocupação romana pelo Imperador Titus Flavius Vaspasianus e o seu exército, a Sétima Legião Gémina, foi dado o nome de Aquae-Fláviae (águas de Flávio) à cidade de Chaves devido às propriedades das suas águas, já que os romanos eram grandes apreciadores dos banhos termais.

Aquae Flaviae terá sido uma das cidades mais influentes do império romano na Peninsula, sendo natural que a cidade se tenha desenvolvido a partir das nascentes termais e de algumas edificações castrejas primitivas. (Gomes, 2006; Geocaching, 2011)

Tal como as restantes cidades do império romano com o elemento Aquae no seu nome, cerca de uma centena em todo o Império e oito conhecidas na Hispania, Aquae Flaviae era uma verdadeira estância termal. Tratavam-se de termas de tipo terapêutico, muito diferentes tanto em forma como em função das termas higiénicas comuns a todas as cidades romanas.

Toda a estrutura termal era composta por um complexo sistema de condutas de entrada e saída das águas que proporcionavam elevada temperatura e caudal considerável.

O balneário, que constituiria o núcleo definidor do aglomerado urbano, deveria ocupar, junto com os edifícios anexos de exploração das nascentes e apoio aos banhista, cerca de um terço da área urbana da cidade romana, e teria uma volumetria só comparável, em contextos provinciais, à de Aquae Sulis, na Britania, (actual Bath, Inglaterra).

Os banhos de Chaves foram grandiosos na época romana. O facto de estarem vocacionadas para o tratamento de doenças juntamente com o de estarem, seguramente, associadas a um centro de culto dedicado à divindade que se julgava propiciar os efeitos benéficos das suas águas, atraíam gente de diversos lugares, por vezes bem distantes (Ribeiro, 2008).

A partir da construção das termas no período romano identificam-se, quer a nível medicinal e de lazer, quer a nível cultural e científico, alguns avanços e recuos no que concerne à potencialização e disponibilização dos recursos associados às termas de Chaves, podendo-se mencionar alguns acontecimentos importantes ocorridos ao longo dos séculos nas Caldas de Chaves (Carvalho & Silva, 1988; Gomes, 2006; Jesus, 2007; Ribeiro, 2008; Pita et al., 2009; Termas de Chaves, 2012):

- No século V os Suevos invadiram a cidade e destruíram o balneário;
- Durante os séculos seguintes as águas foram utilizadas e citadas em várias publicações;
- Em 1899 é concedido o alvará de abertura e exploração do balneário à C. M. de Chaves;
- Em 1922 é concedida por portaria uma área reservada de 50 ha;
- Em 1934 é construído sobre o poço do gradeamento um buvette com colunas de pedra (figura 24), donde a água já era tirada para beber por uma pequena bomba manual. Não havendo médico, tomavam-se banhos sem controlo;
- Em 1940 as Caldas de Chaves são vistoriadas e, apesar de ter sido dada a concessão há já 41 anos, não possuíam balneário nem serviço clínico. A água termal encontrava-se perdida entre as areias nas margens do Tâmega, rebentando à superfície em diferentes pontos do vasto areal da margem do rio e junto à buvette;
- há data de 1947 as águas não tinham captagem geológica, brotando espontaneamente nas margens do Rio Tâmega e até no próprio leito do mesmo Rio numa grande extensão. Tudo que existia para aproveitamento da água cingia-se apenas a um poço com uma bomba;
- Ainda no ano de 1947 é construído o actual buvette e um balneário já desaparecido;
- Em 1972 é inaugurado o actual balneário;
- Em 1982 são realizados os estudos e trabalhos que conduziram á realização das captações AC1 e AC2 com vista à extracção de água para utilização termal e geotérmica, iniciando-se o primeiro projecto de uso de calor para fins que não a balneoterapia. Nasce assim a Geotermia de Baixa Entalpia em Portugal;
- Em 2007 as Termas são agraciadas com o prémio de Melhor Unidade termal de 2006, prémio obtido pelo terceiro ano consecutivo e pela quarta vez desde 2002;
- Actualmente decorrem obras para aumento do caudal de exploração de água termal através da construção de uma nova captação e de obras de remodelação do balneário termal.

Figura 24. Imagens (da década de 40) do buvette construído em 1934, posteriormente demolido no ano de 1952. (fonte: Ribeiro, 2005; Santos, 2014)

9.2. A concessão

A exploração das "Caldas de Chaves" encontra-se concessionada à Camara Municipal de Chaves com denominação HM-9.

A concessão, atribuída pelo Ministério da Economia e Inovação a partir de 28-07-1994 (a primeira licença data de 28-10-1899), sita no Distrito de Vila Real, Concelho de Chaves, freguesia de Santa Maria Maior. Refere-se à exploração de água mineral natural de composição bicarbonatada-sódica e Gasocarbónica (quadro 7), dispondo para tal de duas captações do tipo furo vertical - AC1 e AC2. Geograficamente inscreve-se nas páginas nºs 34 e 47 da Carta Militar dos Serviços Cartográficos do Exército à escala 1/25.000 ocupando 50 hectares (Agência portuguesa do ambiente, 2003; GeothermEx, Inc., 2010).

O perímetro de protecção inerente á concessão, estipulado desde 6 de Março de 2003 com o intuito de garantir a disponibilidade, características da água e condições para boa exploração, compõe-se por três zonas de protecção (figura 25 e quadro 8), (Agência portuguesa do ambiente, 2003):

- Zona imediata – delimitada por dois círculos de 30 m de raio com centro nas captações AC1 e AC2;
- Zona intermédia – delimitada pelo polígono definido pelos vértices ABCD abrange 50 hectares de área;
- Zona alargada – delimitada pelo polígono definido pelos vértices EFGHIJKL abarca toda a área mais urbanizada da cidade de Chaves e quase toda a bacia de origem tectónica denominada Veiga de Chaves.

Quadro 7. Caracterização físico-química da água mineral natural das Caldas de Chaves (Termas de Chaves, 2012).

Caracterização físico-química da água mineral das Caldas de Chaves	
Fácie	bicarbonatada-sódica, gasocarbónica
Composição iónica	Bicarbonatada, sódica, gaso-carbónicas, silicatada e levemente fluoretadas (características específicas da região).
Temperatura	71 graus centigrados - hipertermal
pH	6,7 (a 20 ºC)
Condutividade Eléctrica	2510 mS/cm (a 20ºC)
Mineralização total	2501 mg/L - hipersalina
Alcalinidade	270,0 mL/L de HCl 0.1M
Resíduo Seco	1668 mg/L (a 180ºC)
Dureza Total	79 p.p.m de CaCo3 - mole
Sílica	81,1 mg/L de SiO2
Fluoreto (F^-)	8,2 mg/L
Dióxido de Carbono (CO_2)	600 mg/L (média anual)

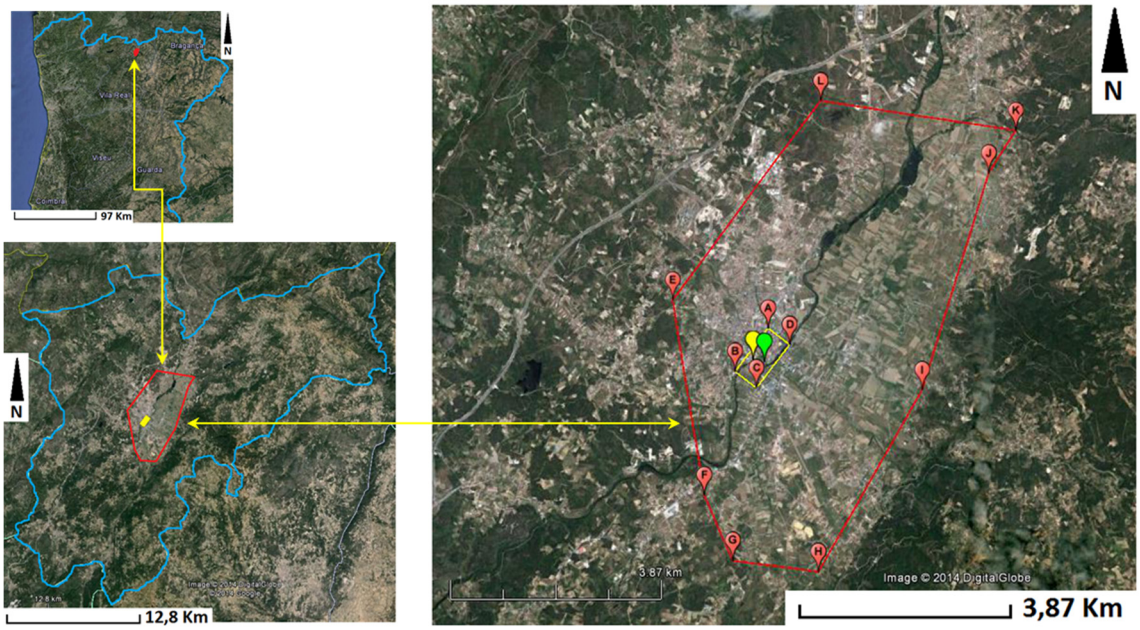


Figura 25. Identificação da área abrangida pelo perímetro de protecção da concessão HM-9. O polígono delimitado a vermelho corresponde ao perímetro da zona de protecção alarga. A área demarcada a amarelo define a zona de protecção intermédia. Os balões amarelo e verde indicam a localização das captações AC1 e AC2, respectivamente.

Quadro 8. Pontos de referência para a delimitação do perímetro de protecção (Agência portuguesa do ambiente, 2003).

Pontos de referência para delimitação do perimetro de protecção				
----------	Coordenadas planares (sistema Hyford-Gauss com referência no ponto central)		Coordenadas geograficas (datum WGS84)	
Captação / vértice	Meridiana (metros)	Perpendicular (metros)	Longitude	Latitude
AC1	54870	230000	-07º 28' 24,893''	41º 44' 15,088''
AC2	55150	229940	-07º 28' 12,797''	41º 44' 13,074''
A	55190	230560	-07º 28' 10,860''	41º 44' 33,158''
B	54590	229760	-07º 28' 37,088''	41º 44' 07,379''
C	54990	229460	-07º 28' 19,880''	41º 43' 57,557''
D	55590	230260	-07º 27' 53,651''	41º 44' 23,335''
E	53425	231062	-07º 29' 27,078''	41º 44' 49,861''
F	54075	227500	-07º 29' 00,109''	41º 42' 54,258''
G	54625	226325	-07º 28' 36,704''	41º 42' 16,041''
H	56200	226150	-07º 27' 28,647''	41º 42' 09,975''
I	58050	229450	-07º 26' 07,485''	41º 43' 56,451''
J	59250	233475	-07º 25' 14,125''	41º 46' 06,582''
K	59750	234275	-07º 24' 52,190''	41º 46' 32,375''
L	56100	234800	-07º 27' 30,044''	41º 46' 50,347''

9.3. Enquadramento geológico

Incluída na microplaca Ibérica, a região encontra-se na unidade estrutural denominada Maciço Hespérico, Maciço Ibérico ou Maciço Antigo. Quanto à geotectónica regional enquadra-se em terrenos da Zona da Galiza-Trás-os-Montes (Ribeiro et al., 2007).

Observando a folha Norte da carta geológica de Portugal à escala 1/500 000 (figura 26) constata-se que na região afloram predominantemente granitóides (granitos de duas micas indiferenciados e granitos biotíticos em geral porfiróides, estes últimos pertencentes ao plutão de Vila Pouca de Aguiar) de idade hercínica intruidos em xistos silúricos metamorfizados, ambos recortados por lineamentos desenvolvidos por planos de falhas. Associadas aos granitos surgem ainda rochas filonianas, que englobam expressivos alinhamentos de filões de quartzo de tendência NE-SW no plano Norte do concelho.

Ocupando menor área mas com influência preponderante a nível hidrogeológico, aponta-se a presença do depósito de cobertura constituído por terraços e aluviões denominado Veiga de Chaves, situado numa zona de depressão (bacia de Chaves) e entre as duas falhas principais que atravessam a região. A formação sedimentar alonga-se no sentido NNE-SSW essencialmente junto à margem esquerda do Rio Tâmega.

Com menos expressão e relativamente afastadas da zona em foco, encontram-se ainda filões, dispostos segundo uma tendência N-S localizados no plano Sul do concelho, e granodioritos biotíticos, numa estreita faixa de tendência NW-SE no plano Noroeste.

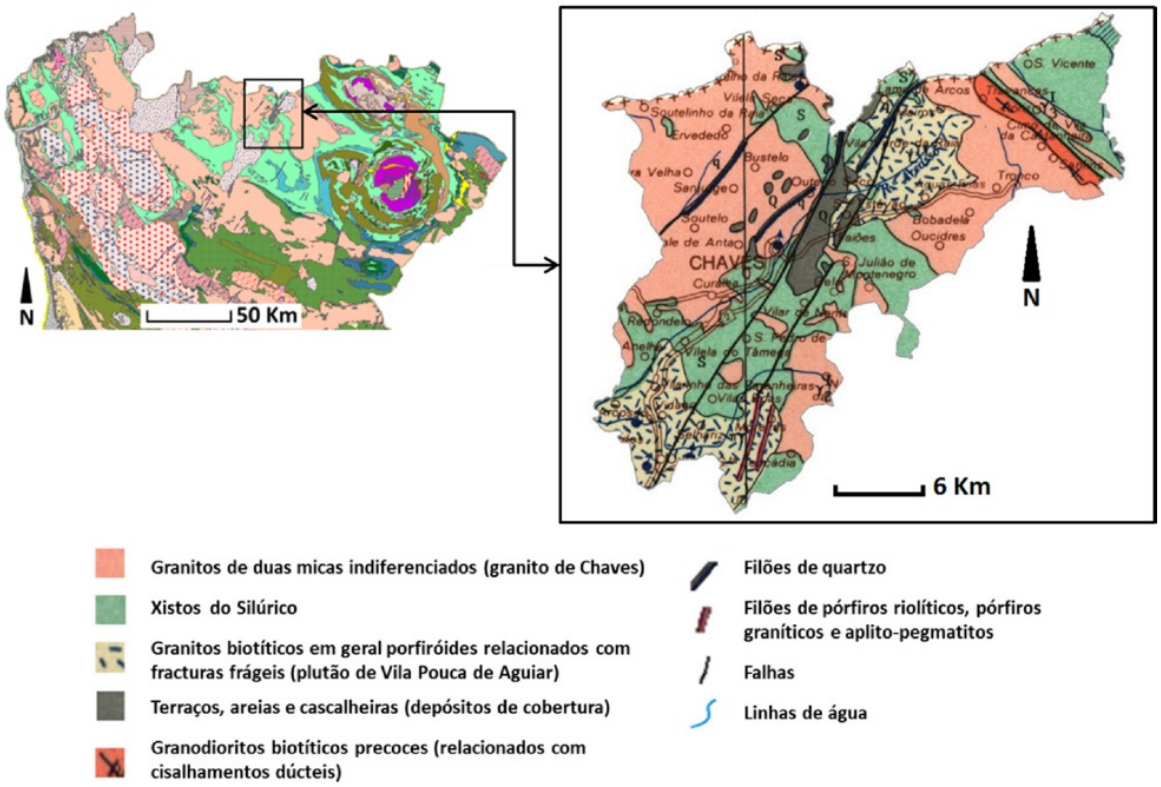


Figura 26. Enquadramento do conselho de Chaves na folha Norte da carta geológica de Portugal à escala 1/500 000 - Laboratório nacional de energia e geologia – LNEG (Coelho & Miranda, 2007-2008).

Aumentando a escala de observação, com recurso ao plano Este da folha 6-B (Chaves) da Carta Geológica de Portugal à escala 1/50 000 (Anexo II), identificam-se,

(i) Rochas Ígneas

No que concerne às rochas eruptivas, grande parte da região é ocupada por granito alcalino de duas micas ou moscovítico com grão médio a grosseiro, trata-se de um granito pós-tectónico que surge, fundamentalmente, em duas grandes manchas a Oeste e a Sul da bacia de Chaves e, com menor expressão, em afloramentos relativamente pequenos encastrados na formação do silúrico que divide as duas áreas mencionadas. A NE da bacia verifica-se a presença de granito sin-tectónico de afiliação calco-alcalino, porfiróide, biotítico ou com biotite predominante.

No cimo do monte de Santa Barbara, entre as duas falhas de maior relevo na zona e no seio da formação metassedimentar, surge um pequeno enclave de forma arredondada constituído por granito de grão grosseiro com passagem a porfiróide.

(ii) Rochas metassedimentares

A formação metassedimentar do silúrico compõe-se quase na sua totalidade por rochas metamorfizadas, mais concretamente pelo complexo de xistos e granitos que aflora a N, SW e SE da bacia de Chaves. Ainda no plano SW da bacia de Chaves, encastrada entre os granitóides, o complexo de xistos e granitos e os sedimentos da Veiga de Chaves, surge uma pequena unidade de xistos metamórficos fortemente intercalada com xistos grafitosos e liditos.

No seio do complexo metassedimentar aparecem conjuntamente afloramentos localizados de quartzitos em bancadas no plano SW e xistos grafitosos e liditos no plano SE. Os quartzitos surgem com maior expressão em dois trechos aproximadamente lineares de tendência essencialmente WNW-ESSE, associados à metamorfização incutida por dois afloramentos graníticos menores ocorrentes no seio do complexo metassedimentar. Os xistos e liditos despontam apenas num alinhamento de tendência NW-SE, mas de maior expressão face aos quartzitos, visto que o afloramento desenvolve-se por uma grande extensão.

(iii) Formações sedimentares

Sobre os granitóides e os metassedimentos dispõem-se outras formações mais recentes. Tratam-se de depósitos de cobertura do pilo-plistocénico constituídos por sedimentos aluviais de terraços com maior ou menor dimensão, encontrando-se o de maior dimensão, denominado de Veiga de Chaves, acumulada numa zona de depressão junto à principal linha de água da região.

Estas formações mais recentes, a julgar pela distribuição e geometria, estarão relacionadas com o complexo de falhas de orientação tendencial NNE-SSW, e ao movimento de blocos a elas associadas e a relevos de dureza que se erguem acima da superfície regular do maciço.

Refira-se que a bacia sedimentar de Chaves, embora considerada pequena num âmbito nacional, assume dimensões consideráveis relativamente ao enquadramento no maciço antigo.

(iv) Rochas filonianas

Além das formações mencionadas, verifica-se, em afloramentos um tanto localizados, a presença de rochas filonianas associadas tanto ao complexo silúrico como às rochas eruptivas.

Os filões de maior expressão constituem-se por quartzo e chegam a estender-se por distâncias consideráveis cortando os granitóides. A sua presença verifica-se essencialmente no granito alcalino de grão médio a grosseiro e segundo uma tendência coincidente com as principais fracturas na região (NNE-SSW), embora seja presente um filão deste tipo de tendência NE-SW no granito calco-alcalino.

Assinala-se também, não pela sua expressão mas pela sua localização quase coincidente com o local de estudo, a presença de outro filão de quartzo de tendência NNE-SSW, desta feita cortando essencialmente uma pequena porção do complexo de xistos e granitos entalhado entre os sedimentos da Veiga de Chaves e o granito alcalino de grão médio a grosseiro, e realizando, numa pequena porção da sua extensão, a interface entre as rochas granitóides e as metassedimentares.

Associados ao afloramento de xistos grafitosos e liditos, localizado a Este do depósito sedimentar, vislumbram-se pequenos filões de pegmatito granítico orientados segundo NW-SE, direcção coincidente com a orientação das rochas silúricas mencionadas.

9.4. Enquadramento tectónico

A nível litológico verifica-se essencialmente a presença de granitóides e metassedimentos sujeitos a processos de deformação e recristalização, o que lhes confere uma importante coerência e consistência, características que permitem o desenvolvimento de uma tectónica frágil.

A região de Chaves é fortemente condicionada pela tectónica, sendo a Falha Verin-Régua-Penacova o principal elemento presente, influenciando a geomorfologia, climatologia, hidrografia e hidrogeologia da região. Esta falha, que se estende por um comprimento de aproximadamente 200 km em Portugal, desde uma área a Sul de Penacova até à zona Norte de Chaves, e penetra em território espanhol por mais 20 km, até Verín, corresponde a uma estrutura activa de desligamento esquerdo tardi-varisco de orientação geral NNE-SSW que desloca referências geológicas no soco Varisco com separação horizontal máxima de aproximadamente 3,4 km, desenvolvendo, devido à complexidade estrutural associada ao desligamento, um sistema complexo de falhas e blocos que se estende por vários quilómetros de largura.

Na região em torno de Chaves a configuração do sistema de falhas apresenta uma geometria ligeiramente concava com abertura para NW, curvando de uma direcção tendencialmente NNE a SE de Chaves para outra tendencialmente Norte a Norte de Chaves (figura 27a). Quanto ao pendor, as falhas constituintes do sistema inscrevem-se no plano em estudo assumindo inclinação fundamentalmente vertical.

Ao longo desse sistema de falhas desenvolve-se intensa fracturação e a consequente formação de blocos que, movimentados pelo campo de tensões, organizam-se em conjuntos elevados tectonicamente por compressão (Horst) e em bacias deprimidas tectónicamente por tracção (grabens).

No seio da zona em estudo encontra-se a bacia de Chaves, uma depressão tectónica associada ao sistema de falhas geológicas de Régua-Verín que corresponde ao abatimento de um bloco (graben) que surge como resultado da curvatura do desligamento, que passa de uma direcção NNE-SSW a N-S (figura 27b). O bloco deprimido apresenta cerca de 10X5Km de dimensão máxima e dispõe-se segundo NNE-SSW, entalhado entre duas falhas de elevada importância, a falha de Vila Real, a Oeste, e a de Vilar de Nantes, a Este, sendo a ultima a mais activa na área em análise (Martins, 2009).

A leste da depressão, a falha de Vilar de Nantes é o único acidente presente (à escala em análise). Esta, caracterizada pelo movimento de desligamento esquerdo e direcção NNE-SSW, delimita o plano Este da bacia e realiza a interligação com a Serra da Padrela numa transição “abrupta” através da acentuada escarpa de falha que desenvolve (figura 27c).

A ocidente, desde a bacia de Chaves até à serra do Barroso, verifica-se um conjunto de falhas sub-paralelas à falha de Vila Real (direcção geral NNE-SSW) que por imposição de um regime distensivo facultaram o desenvolvimento de três patamares topográficos dispostos em escadaria. Ao invés do verificado a leste, aqui a evolução topográfica ocorre progressivamente entre níveis.

A Sul da depressão, o destaque recai sobre o relevo de Santa Bárbara, um bloco erguido que se comporta como um Horst transversal separando a bacia de Chaves da Bacia de Vidago.

Todo este sistema, desde o Barroso, a Oeste, até à Padrela, a Este, constitui-se pela ocorrência de conjuntos de horsts e grabens, de onde se destaca a bacia de Chaves, um graben com características particulares a nível hidromineral e geotérmico.

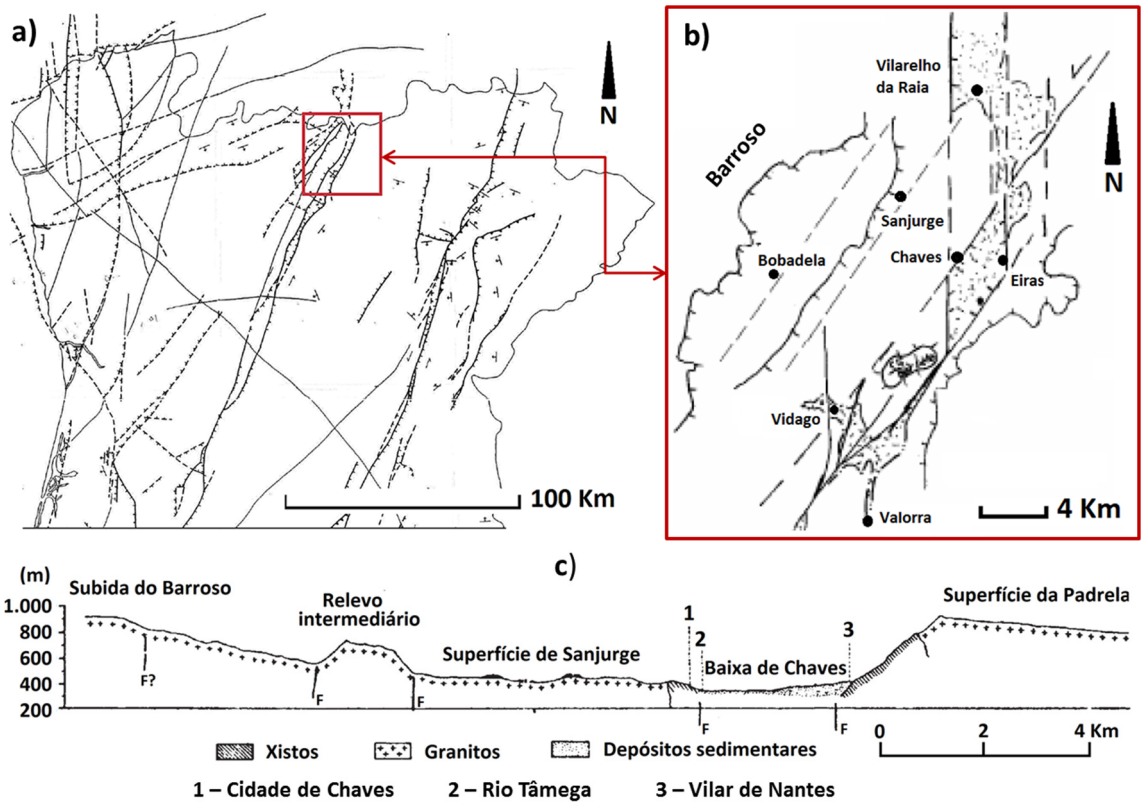
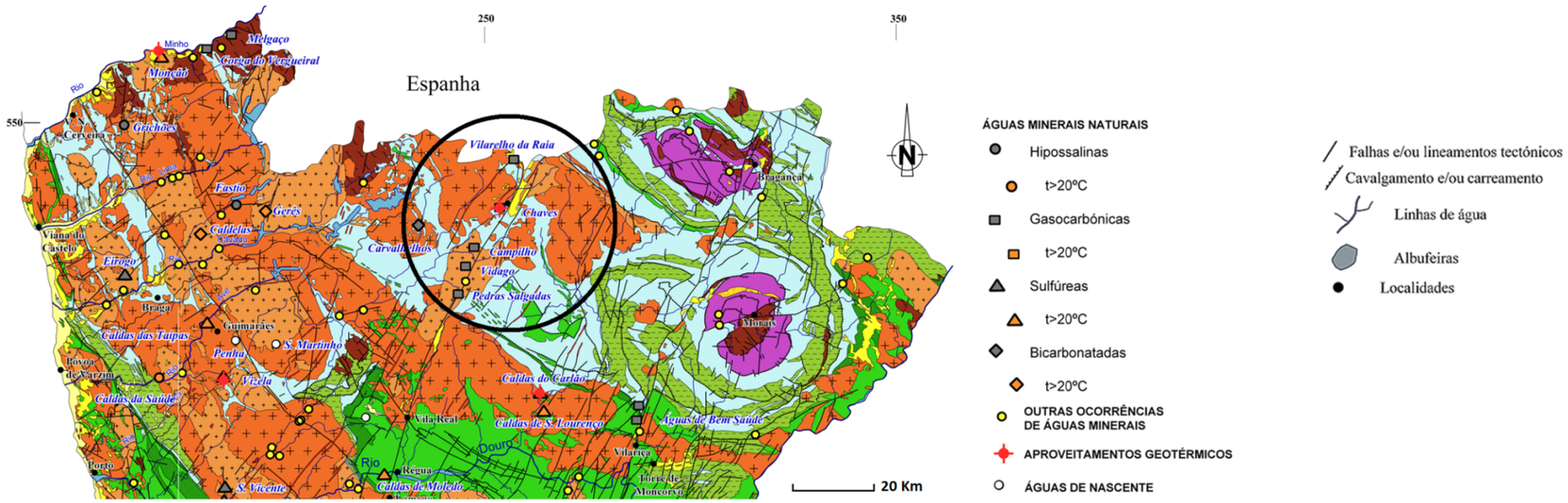


Figura 27. a) estrato da carta Neotectónica de Portugal continental à escala 1/1000000 (Bateira et al., 2007); b) Enquadramento tectónico do graben de Chaves (Martins, 2009); c) Corte transversal da bacia de Chaves (Geologia no verão, 1999).

9.5. Enquadramento hidrogeológico

A área em estudo é constituída (figura 28), essencialmente, por maciços de permeabilidade reduzida (rochas intrusivas, hercínicas, predominantemente graníticas) e de permeabilidade muito reduzida (xistos do silúrico, por vezes com quartzitos em bancadas e filões pegmatíticos graníticos). Refira-se, ainda, que estes meios compreendem uma permeabilidade em grande, predominantemente, por fissuração e por fracturação. Por outro lado, sempre que o estado de fracturação e de alteração, quer nas formações metassedimentares quer nas formações graníticas, atinge graus críticos, pode-se desenvolver zonas de rocha meteorizada com uma permeabilidade em pequeno, intersticial, na qual a porosidade destes materiais é, geralmente, superior à da rocha-mãe sã a pouco alterada que lhes deu origem (Agripro, 2009).

No seio das formações geológicas predominantes (ígneas e metamórficas) surgem, contudo, unidades aquíferas com um interesse hidrogeológico relevante que ocupam depressões do soco antigo. É o caso da ocorrência de algumas formações aluvionares como a Veiga de Chaves e outras relativamente pequenas. Estas formações caracterizadas pela circulação em meio poroso possibilitarão, relativamente aos meios fissurais predominantes, maior capacidade de armazenamento e menor risco associado à localização e pesquisa das captações, que neste caso poderá desenvolver-se através de poços de grande diâmetro ou de pequenos furos a profundidades consideráveis, ao invés da quase exclusividade das captações do tipo furo normalmente associadas aos meios fissurados (ADRAT - Associação de desenvolvimento da região do Alto Tâmega).



Caracterização das unidades hidrogeológicas regionais

Unidades hidrológicas regionais		Tipologia dos aquíferos												Produtividade							
		Localização aquífero		Ligação á rede hidrográfica			Tipo de escoamento		Horizonte de alteração				Captações mais produtivas		Risco geológico de insucesso (IMC, m/l/s)			Q - Caudal de exploração por captação (l/s)**		
		Costeiro	Continental	Tem	Não tem	Pode ter	Meio poroso	Meio fissurado	Espessura baixa	Espessura alta	Argiloso	Arenoso	Poços, minas, nascentes	Furos	Muito elevado	Elevado	Baixo	Muito baixo Q<1	Baixo 1<Q<2	Elevado Q>2
Aluviões e/ou eluviões; areias de dunas: depósitos sedimentares detriticos geralmente pouco consolidados		X[1]	X	X			X						X[2]				X		X	X[3]
Terraços flúvio-marinhos e conglomeráticos: depósitos sedimentares detriticos pouco consulidados		X[1]	X	X			X						X				X		X	
Depósitos arcósicos: depósitos sedimentares detríticos geralmente consolidados			X			X	X	X						X			X		X	
Grés e calcários			X			X	X	X					X	X						
Metapelitos e psamitos avermelhados, vulcanitos básicos e áidos, complexo filado-quartzoso, quartzitos			X			X		X		X	X			X		X			X	
Quartzo-filitos, filádios, xistos carbonosos com intercalações de amplitos e liditos, complexo gresoso quartzítico, argilitos e conglumerados			X			X		X	X	X		X		X		X	X		X	
Quartzitos maciços, quartzitos xistóides e xistos ardosíferos intercalados			X		X	X		X	X			X		X		X	X		X	
Xistos, grauvaques, níveis metaconglomeráticos e complexo migmatítico-gnaissíco			X			X		X		X	X			X	X	X	X	X	X	
Granito de grão médio a grosseiro de duas micas, com esparsos megacristais			X			X		X		X		X			X	X		X		
Granito de grão médio a fino essencialmente biotítico			X			X		X		X		X			X	X		X		
Gnaisses, migmatitos e granitos gnaissicos			X			X		X	X			X			X			X		
Rochas básicas (peridotitos, rochas máficas, gabros e anfibolitos: complexo ofiolítico s.i.)			X			X		X	X		X			X	X	X		X		
Filões e massas (quartzo, pegmatito e aplito-pegmatitico)			X			X		X	X			X		X			X		X	

1) Apenas na orla costeira Porto-Ovar
2) À excepção da Veiga de Chaves onde as captações mais produtivas são furos;
3) Apenas na Veiga de Chaves

* IMC (Índice metros caudal) numa dada área, comprimento total de metros necessário realizar em um ou vários furos para captar 1l/s;
**Caudal mediano de exploração

Figura 28. Carta hidrogeológica regional (Carvalho, 2006).

Embora consideradas como impermeáveis, as formações ígneas e metamórficas têm uma capacidade de armazenamento não desprezável quer nas zonas de alteração superficial quer no sistema de fracturas que as afectam, aliás, associado a estes acidentes estruturais planares verifica-se ainda o surgimento de importantes nascentes minerais (Ribeiro, 2009).

A região Norte de Portugal é a mais rica em ocorrências hidrominerais, quer pela sua quantidade, quer pela diversificação do seu quimismo, e em particular, na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, as águas termais assumem um papel relevante. Das 20 concessões em actividade na região Norte, 9 delas estão sedeadas nesta região, evidenciando uma nítida concentração na sub-região do Alto Tâmega (figura 29), (Rodrigues et al., 2006).

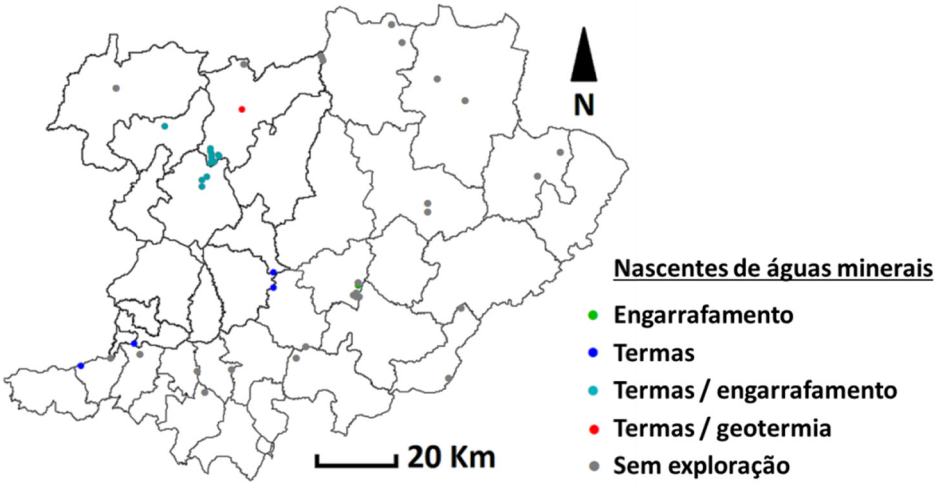


Figura 29. Nascentes e usos de águas minerais na região de Trás os Montes e Alto Douro (Rodrigues et al., 2006).

É evidente a estreita relação das águas minerais portuguesas com o ambiente geotectónico (megafracturas), a litologia encaixante e as fracturas subverticais de reactivação neotectónica às quais se associam muitas emergências hidrominerais de origem profunda.

As nascentes de águas minerais ocorrem associadas a falhas activas, todavia não se situam necessariamente sobre o acidente tectónico principal mas sim, mais frequentemente, em nós tectónicos, normalmente transversais, que favorecem a abertura de fracturas e facilitam a circulação das águas minerais (Pita et al., 2009).

A nítida concentração das ocorrências hidrominerais na sub-região do Alto Tâmega está intimamente ligada á falha activa Penacova-Régua-Chaves-Verín, ao longo da qual se alinham importantes nascentes minerais e termais, como é o caso dos principais centros hidrotermais da região: Chaves, Vidago, e Pedras Salgadas (figura 30).

A interligação desta falha de direcção NNE-SSW com outras de direcções diferentes proporciona a ascensão dos fluidos internos que na emergência nunca excedem os 80°C, observando-se a presença quer de águas hipertermais (Chaves, temperatura de 76°C) quer de grande número de águas hipotermais (Vilarelho da raia, Vidago e Pedras Salgadas, temperatura aproximada de 17°C), todas pertencentes à fácies bicarbonatada-sódica-gasocarbónica, algumas das quais são utilizadas nas estâncias termais locais (Marques et al., 2000; Pita et al., 2009).

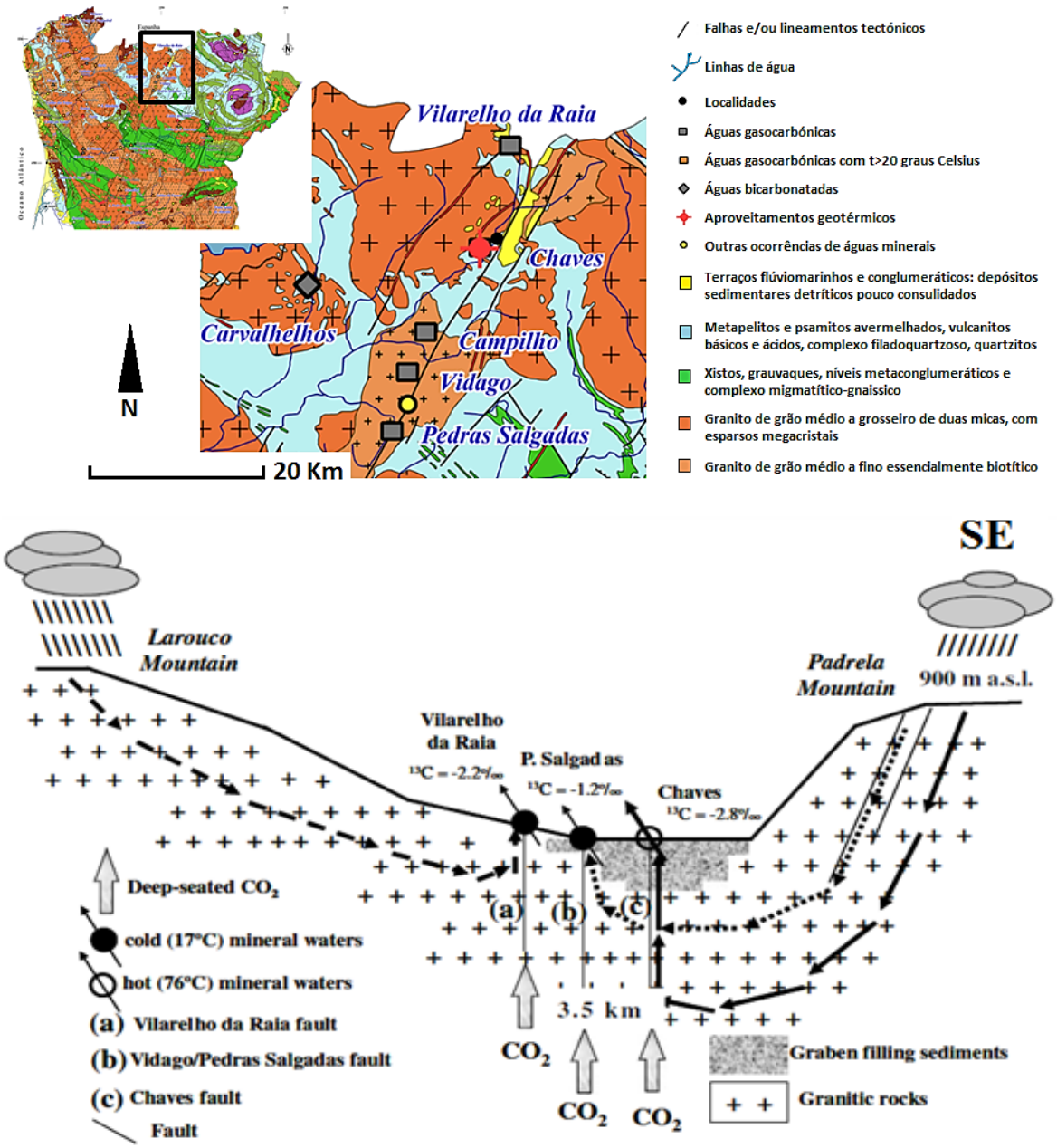


Figura 30. Em cima, distribuição das mais importantes águas minerais no Alto-Tâmega (Carvalho, 2006). Em baixo, esquematização simplificada do modelo circulatório de algumas dessas águas (Carreira et al., 2008).

Quanto ao quimismo, as águas minerais de fácies bicarbonatada-sódica-gasocarbónica constituem um grupo com particular destaque no Alto Tâmega. Estas águas, que em Portugal ocorrem somente na região de Trás-os-Montes e Alto Douro, apresentam uma assinatura hidroquímica específica que se caracteriza por teores elevados de anidrido carbónico livre, pH ligeiramente ácido, mineralização total elevada, e domínio dos iões bicarbonato e sódio (Pita et al., 2009).

No pólo de águas hipotermais de Chaves, surgem e são captadas águas bicarbonatadas-sódicas-gasocarbónicas com temperaturas entre 68 e 77 °C, de pH ao redor de 7, com resíduo seco da ordem de 1600- 1700 mg/L e CO2 total dissolvido entre 1400 e 1566 mg/L. A aplicação de geotermómetros aquosos a estas águas sugere temperaturas de cerca de 120°C para o aquífero profundo (Carvalho et al., 2007).

A mineralização das águas subterrâneas depende essencialmente do contacto que a água estabelece com a litologia encaixante, desde o momento da infiltração, até à sua emergência. No caso das águas minerais, há a considerar dois processos principais: a interacção água-rocha e a Interacção água-rocha juntamente com contributo profundo. As ocorrências gasocarbónicas são o produto da condensação de gases e vapores de origem profunda em ambientes subsuperficiais fracamente oxigenados e ocorrem normalmente nas margens de campos hidrogeotérmicos (Pinheiro, 2011). Desta forma, podemos admitir que a mineralização das águas minerais de Chaves apresente as duas origens referidas anteriormente.

Segundo GeothermEx, Inc. (2010), as águas termais de Chaves e as restantes águas minerais (geralmente com temperatura entre 14 °C -20 °C) presentes no Alto Tâmega ao longo da depressão de Chaves e de outros segmentos da Zona de falha Régua-Verin verificam semelhanças na maioria dos aspectos hidroquímicos:

- Os valores de ph são próximos, enquadrando-se nas gamas 6,1-7 e 6,9-7,4 respectivamente às águas frias e águas quentes Chaves;
- A forte mineralização caracteriza tanto as águas hipertermais como as hipotermais;
- Ambas são ricas em CO2 total dissolvido, que chega a atingir valores superiores a 6000 mg/L nas águas hipotermais.
  Com excepção da água de uma captação em Vilarelho da Raia, a águas apresentam exsolução gasosa à pressão atmosférica, sendo mais observada nas águas de Vidago, Campilho, Sabroso e Pedras Salgadas, onde o CO2 dissolvido na forma livre tem concentrações até 4670 mg/L.
- Nenhuma das águas constitui depósitos calcários de qualquer tipo e nenhuma é notadamente corrosiva.

As diferenças significativas entre as águas mineralizadas frias e as águas quentes de Chaves encontram-se em determinados parâmetros que respondem às temperaturas das reacções químicas água-rocha. De forma geral, associado á temperatura verificam-se as condições (GeothermEx, Inc., 2010):

- O nível de sílica dissolvida (SiO2) aumenta com o aumento da temperatura;
- O nível de magnésio (Mg) diminui à medida que a temperatura aumenta;
- A relação Na/K diminui à medida que aumenta a temperatura;
- Tendencialmente (não sempre), baixa concentração de Mg é acompanhada de baixa concentração de Ca.

Algumas das águas frias da região apresentam valores enquadrados com um dos quatro pontos acima mencionados, mas apenas as águas quentes de Chaves exibem todos os quatro efeitos de temperatura elevada. Chaves é a única fonte termal significativa na região, as outras são frias e não mostram os efeitos termais constantes no quimismo que são vistos na água Chaves.

10. Enquadramento local

Localmente, o plano em estudo é fortemente condicionado pelo abatimento tectónico do bloco (graben) que originou a bacia de Chaves, a qual apresenta uma forma alongada com orientação predominantemente N-S passando a NNE-SSW (direcção média N25°E) inscrita longitudinalmente por cerca de 10 km de comprimento máximo e transversalmente por cerca de 5 km de largura máxima (Martins, 2009).

Na bacia, sob o graben, desenvolveu-se a Veiga de Chaves, uma formação sedimentar entre granitos e xistos (figura 31) constituída por sedimentos espessos do quarternário provenientes dos relevos graníticos próximos de onde são arrastados pelo rio Tâmega e seus afluentes, originando depósitos de aluviões e níveis de terraços escalonados a diferentes alturas que cobrem

o leito rochoso constituído pelos granitos e xistos sobre os quais assenta a formação sedimentar (ADRAT - Associação de desenvolvimento da região do Alto Tâmega).

A delimitação da Veiga ocorre essencialmente por xistos do silúrico. Estes encontram-se ausentes apenas a norte de uma linha que conecta Chaves e Faiões, mas aparecem novamente a norte de Outeiro Seco. Nesse intervalo surgem granitos com granularidade que varia entre fina a grosseira, por vezes porfiróide, que devido a processos de alteração originaram cascalheiras e areias grosseiras presentes na Veiga.

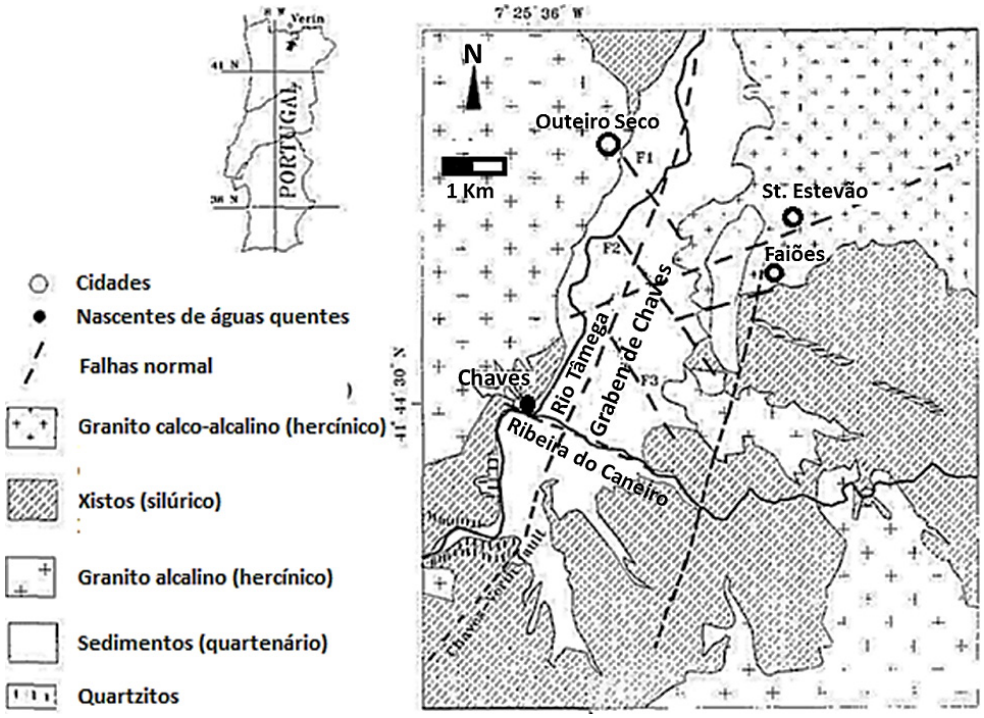


Figura 31. Enquadramento geológico e tectónico da bacia de Chaves (GeothermEx, Inc., 2010).

Tectonicamente, a GeothermEx, Inc. (2010), refere que a área é atingida de forma expressiva pela família de falhas NNE-SSW, compreendendo ainda um conjunto de tendência ENE-WSW e outro de tendência NW-SE (ou NNW-SSE), todos eles afectando os sedimentos da bacia e as rochas encaixantes. O campo de tensões considerado apresenta máxima tensão horizontal de compressão em NW-SE incidindo com direcção WNW-ESE, tendendo a facilitar a subida de águas minerais de profundidade nas intersecções dos sistemas de falhas.

Grade & Moura (1982), num estudo de prospecção, menciona também a forte tectonização das rochas enquadrantes da bacia de Chaves por sistemas de fracturas verticais a subverticais de direcção aproximada N-S a NNE-SSW, N60^{o}E e E-W (figura 32), sendo que estes sistemas afectam os sedimentos do Quarternário, compartimentando a bacia em blocos movimentados devido ao abaixamento diferencial do seu fundo.

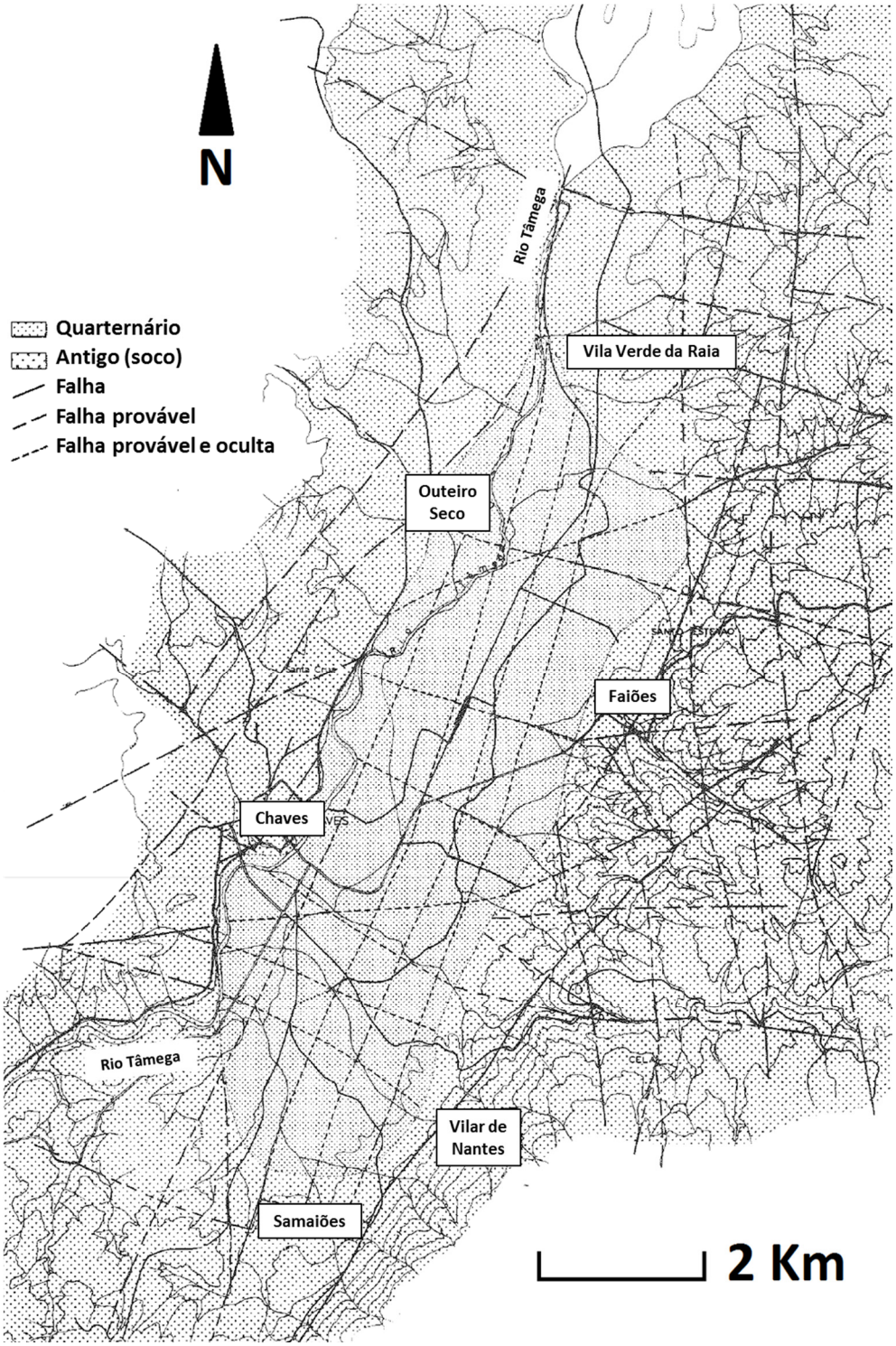


Figura 32. Esboço geológico-estrutural da Região de Chaves (Grade & Moura, 1982).

A nível hidrogeológico, a formação sedimentar, de topografia quase plana e caracterizada pela porosidade intersticial, contrasta fortemente com as montanhas a nascente e a poente no seio das quais se instala, onde dominam as rochas ígneas e metamórficas caracterizadas pela permeabilidade em grande, com circulação essencialmente através falhas, fracturas e fissuras.

Em profundidade, a caracterização hidrogeológica do graben compreende dois sistemas hidrogeológicos distintos:

- Um sistema aquífero sub-superficial sujeito a fortes variações sazonais, denominado "aquífero da veiga de chaves", onde circulam águas frias ditas "normais" fluindo através dos poros das sequências sedimentares do fundo do vale tectónico;
- E um outro compreendendo águas mineralizadas e hipertermais, com piezometria ligeiramente superior ao aquífero aluvionar e circulação mais profunda, veiculando através das fracturas dos granitos e xistos que servem de base à formação sedimentar.

10.1. Aquífero hidromineral

A zona de descarga do aquífero hidromineral, constituído por águas hipertermias com fácies bicarbonatada-sódica gasocarbónica e fluoretada, situa-se basicamente no bordo oriental da bacia de Chaves, localizando-se grande parte das exsurgências de água mineralizada em zonas de fronteira peribatolítica no lado ocidental da falha.

A ocorrência de água termal nos campos do tabulado encontra-se directamente relacionada com aspectos essencialmente tectónicos que favorecem a circulação ascendente e rápida dos fluidos, constituindo anomalias geotérmicas locais que sobressaem dos valores regionais de gradiente geotérmico.

O sistema de águas hipertermais apresenta circulação profunda com ascensão associada ao cruzamento de falhas de direcção N70°E e ao acidente tectónico principal de direcção NNE. Próximo da superfície, uma rede de filões de quartzo hidrotermal assume um papel relevante na ocorrência de emergências termais e na implantação de captações.

Posto isto, assume-se que o campo hidromineral de Chaves é controlado por um sistema fissural/filoneano activado pela tectónica recente que permite a rápida subida de fluidos geotérmicos, encontrando-se praticamente sempre na sua exploração e desenvolvimento uma anomalia maior em profundidade do que se manifesta na descarga à superfície, muitas vezes muito maior (Carvalho & Silva, 1988; Carvalho et al., 2007).

A fonte térmica do sistema termal advém do fluxo de calor da crosta (não magmático) em profundidade e é provável que o graben seja uma característica importante no que diz respeito à actividade geotérmica local pois, para além da potencial permeabilidade associada às "fronteiras" que o delimitam e às falhas e fracturas presentes, o preenchimento sedimentar de um graben é um "cobertor" grosso, termicamente isolante, pelo que restringirá o fluxo de calor a partir de profundidade mais eficientemente relativamente às rochas do leito que o circunscrevem abaixo e lateralmente. Por tal, as rochas abaixo do graben podem acumular mais calor, atingindo maior temperatura relativamente ao maciço equivalente localizado lateralmente (GeothermEx, Inc., 2010).

10.1.1. Manifestações geotérmicas e Histórico de captações

Em Chaves, para além de vários pontos de ressurgência, pelo menos cinco captações de águas quentes localizadas próximo das termas são comummente mencionadas na bibliografia. As temperaturas máximas relatadas entre essas nascentes e captações cifram de 76 - 78 °C, embora exista um relatório que "estranhamente" aponta uma temperatura de 100 °C medida no aquífero.

As fontes termais estão localizadas na margem direita do Tâmega, perto da confluência deste rio com o Ribeiro do Caneiro. Dispõe-se ao longo de uma tendência SW-NE por cerca de 1 km e estendem-se lateralmente por uma largura aproximada de 200 m, resultando numa área de 0,2 quilómetros quadrados (figura 33), distando os pontos de descarga mais a SW do mais a NE cerca de 920m.

Observando o esboço geológico (figura 33), afigura-se que o campo hidromineral encontra-se delimitado a NE e SW por falhas de tendência NW-SE, a NW por falhas de tendência NNE-SSW, a S por uma falha de tendência NW-SE, coincidente com a Ribeira do Caneiro, e a SE pelo rio Tâmega.

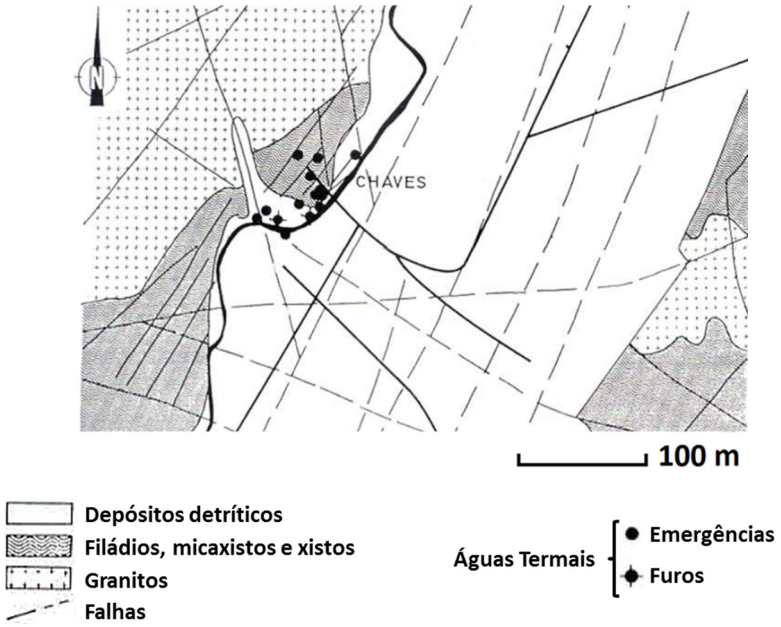


Figura 33. Esboço geológico do campo hidromineral de Chaves (Carvalho & Silva, 1988).

As emergências inscritas nesta área particular devem-se ao sistema fissural/filoneano aí presente e um nível piezométrico da circulação termal ligeiramente superior ao do aquífero aluvionar.

A descarga das fontes termais de Chaves não reúne consenso. Existem autores que relatam 10 L/s como valor obtido para a descarga de água na cidade de Chaves, com a existência de alguns pontos na bacia onde ascendem águas termais misturadas com água de aquíferos superficiais. Outra bibliografia indica que a taxa de fluxo total de descarga das águas termais de Chaves é de 15 L/s e que não existem provas de mistura.

Do amplo sistema de nascentes quentes destacam-se os poços P1, P2 e P3 (figura 34), três pontos de descarga históricos localizados perto das termas cedendo água mineral a temperaturas entre 55 °C e 72 °C (aproximadamente) em tempos utilizada na prática termal (GeothermEx, Inc., 2010).

Medições do caudal das três nascentes das caldas de chaves em 1982 determinaram: 103.2 m3/dia para P1 (actual buvette); 127.5 m^3/dia para P2 (actual buvette); e 46.56 m^3/dia para P3 (Jesus, 2007).

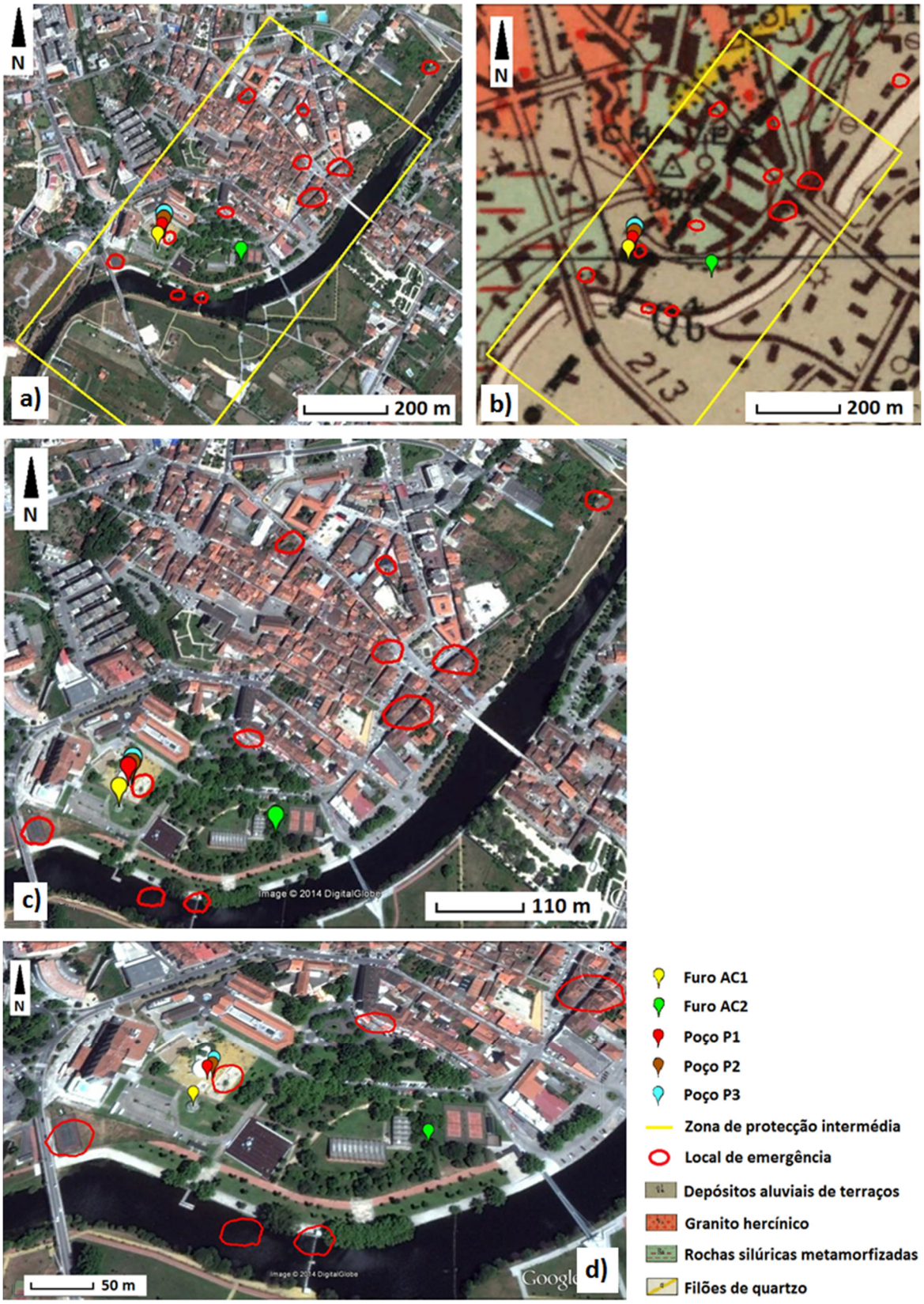


Figura 34. Localização das nascentes e captações de água termal no campo hidromineral de Chaves. a) enquadramento geográfico da área de concessão; b) enquadramento geológico da área de concessão; c) distribuição das emergências termais; d) localização das captações de água mineral. (Adaptado de Carvalho & Silva, 1988).

Actualmente, a captação de água mineral natural para fins termais e geotérmicos procede-se unicamente em dois furos, AC1 e AC2. Estas captações, construídas em 1982 no bordo Oeste do graben, distam cerca de 200 m e desenvolvem-se respectivamente até 92 e 155m de profundidade, ao longo da qual atravessam metassedimentos do silúrico intercalados por veios hidrotermais de quartzo, drenando água mineral preveniente da descarga de xistos (figura 35) (GeothermEx, Inc., 2010).

Diagrafias termoeléctricas realizadas no furo AC1 mostraram circulação de água quente nos filões de quartzo até 50 m de profundidade, a partir daí ocorre inversão do gradiente térmico. Já a captação AC2, implantada sobre fracturação NNE, apresenta gradiente geotérmico regularmente crescente até à profundidade final (Carvalho & Silva, 1988).

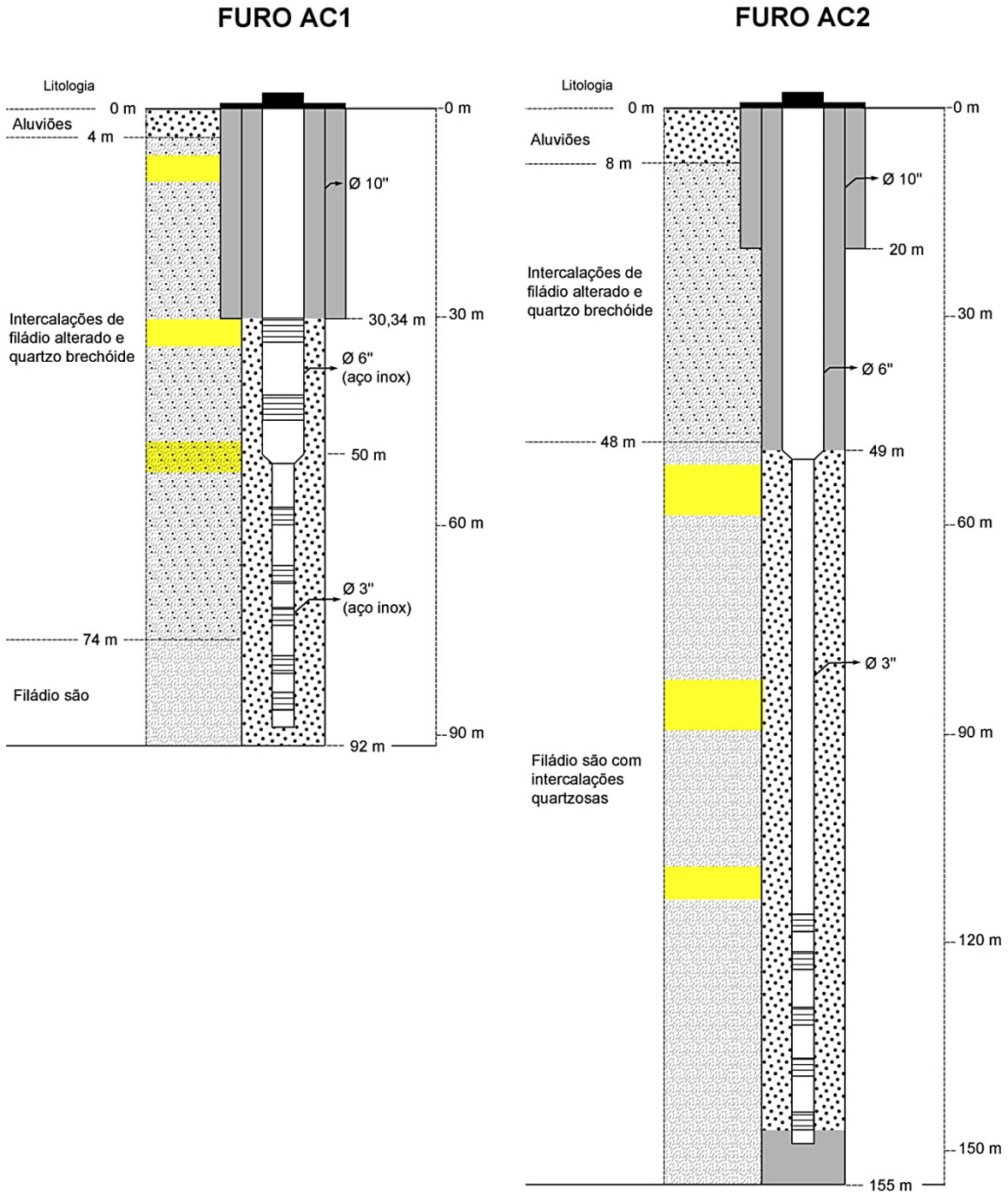


Figura 35. Projecto das captações AC1 e AC2 (Carvalho & Silva, 1988).

De acordo com os conhecimentos existentes, pode considerar-se que os recursos disponíveis nas captações AC1 e AC2 são de 15 l/s à temperatura de 73ºC. São caudais e temperaturas sustentados e apoiados pelos resultados da exploração durante 20 anos, período durante o qual a temperatura do fluido geotérmico tem-se mantido regular e sem alterações significativas de registo (GeothermEx, Inc., 2010).

Ensaios realizados na construção e exploração das captações AC1 e AC2 disponibilizaram mais um conjunto de dados para a caracterização do aquífero hidromineral de Chaves, os quais podem consultar-se no quadro 9. O referido quadro expõe também o quimismo verificado na nascente N.3 (corresponde ao P3 anteriormente mencionado) que concede informações do sistema de descarga para comparação entre a nascente e as captações "profundas" AC1 e AC2.

Quadro 9. Caracterização das captações AC1 e AC2 e das nascentes Chaves e N.3 (Carvalho et al., 2007; GeothermEx, Inc., 2010).

1. Caracterização do aquífero

1.1. Parâmetros hidrodinânmicos

Captação	Temperatura (°C)	Caudal de exploração (L/s)	Caudal espontâneo (de furação) (L/s)	Caudal especifico (L/s/m)	Tansmissividade (m^2/d)	Coeficiente de armazenamento
AC1	76	10	40	11,3	700 a 800	0,005
AC2	78	5	-----	0,8		

Nota: Dados obtidos no decurso da construção das captações e nos ensaios de caudal a elas associados.

1.2. Parâmetros fisico-químicos

Nome	Data	Tipo	T °C	pH	Cond. µs/cm	CO2 livre mg/L	CO2T mg/L	SiO2 mg/L	NA mg/L	K mg/L	Ca mg/L	Mg mg/L	Li mg/L	Fe mg/L	Al mg/L	HCO3 mg/L	SO4 mg/L	Cl mg/L
Chaves	1970	Nascente	72,8	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	100	623,8	65,4	27,3	3,9	n.d.	n.d.	n.d.	1744,6	3,9	47,9
AC1	04/91	Furo vertical	64,3	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	71,0	605,8	64,3	22,1	5,6	n.d.	n.d.	n.d.	1640,8	23,5	63,5
AC1	07/91	Furo vertical	68,8	6,98	2590	207,0	1400,8	72,3	610,8	61,3	24,6	6,1	2,70	n.d.	0,05	1655,1	35,7	43,0
N.3	04/91	Nascente	48,6	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	74,0	626,0	66,2	30,9	5,1	n.d.	n.d.	n.d.	1727,5	22,4	67,8
N.3	07/91	Nascente	55,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	74,0	626,3	64,8	24,0	5,9	n.d.	n.d.	n.d.	1687,3	34,7	45,0
AC2	04/91	Furo vertical	76,0	7,30	2890	350,0	1566,1	73,6	550,8	64,1	24,0	5,8	2,95	0,3	0,05	1685,7	17,7	63,2
AC2	07/91	Furo vertical	72,2	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	74,0	559,9	64,8	23,3	5,1	n.d.	n.d.	n.d.	1825,7	24,2	38,6

n.d. - não determinado

Nota: Medição da temperatura nos furos verticais realizada á cabeça da captação.

Assim como nas exsurgências, também nas captações AC1 e AC2 se verificam divergências de opiniões quanto à ocorrência de mistura de águas hidrominerais com águas superficiais. Um estudo menciona a presença de uma variação sazonal de iões principais e "instabilidade" da composição química nos furos AC1 e AC2. Um outro relata instabilidade entre amostras colhidas nas captações e nascentes em 1986, 1990 e 1991, indicando que uma pequena percentagem de água superficial estava presente na água mineral. No entanto, GeothermEx, Inc. (2010) concluiu ("mas admitindo que poderá estar enganado") existir um erro sistemático num grupo de dados, não um evento de mistura (GeothermEx, Inc., 2010).

A nível de recursos, actualmente são admitidos 15 L/s como caudal de exploração do aquífero. Mas este valor resulta de limitações de projecto das captações existentes, estimando-se recursos muito superiores em Chaves.

Uma estimativa dos recursos justificada pela extrapolação baseada no aumento de profundidade das captações e na ocorrência eventual de novos campos de captação indica valores (quadro 10) muito superiores (Carvalho & Silva, 1988).

Quadro 10. Estimativa dos recursos geotérmicos em Chaves (Carvalho & Silva, 1998).

Estimativa dos recursos geotérmicos em Chaves			
Recursos	Disponíveis	Prováveis	Possíveis
Quantificação	54 m3/h (~15 l/s)	160 m3/h (~45 l/s)	300 m3/h (~83 l/s)

10.1.2. O modelo conceptual actual

Conforme exposto anteriormente, o surgimento de nascentes termais no maciço antigo está claramente ligado aos acidentes tectónicos e estruturais. Dada a elevada complexidade dessas estruturas é extremamente difícil estabelecer modelos conceptuais minimamente credíveis, sendo o conhecimento desses meios hidrogeológicos ainda muito limitado.

À presente data é inexistente um estudo completo e actual de caracterização do modelo conceptual e capacidade do aquífero geotermal da bacia de Chaves, contudo é possível retirar considerações de diversos estudos realizados nas últimas décadas.

A evolução do conhecimento acerca do campo hidromineral de Chaves deu-se essencialmente na década de 80, altura em que vários trabalhos de investigação foram realizados no âmbito da construção das captações geotermais (AC1 e AC2) e das captações para abastecimento de água à cidade (AC1, ACP1, AC75 e ACP2). Mais tarde, nos anos 90, identificam-se ainda trabalhos com base em prospecção por métodos indirectos destinados caracterizar o campo geotérmico na zona de descarga, desta feita segundo um âmbito de exploração para produção de energia eléctrica.

Trabalhos efectuados na bacia de chaves no período 1985/1987 para captar águas para fins agrícolas forneceram pistas que proporcionaram um avanço considerável quanto ao modelo conceptual do campo geotérmico de chaves. Levantamentos geoeléctricos realizados mostraram existir uma fossa central com cerca de 0,5 Km de largura na qual o bed-rock se deveria encontrar à profundidade de cerca de 450m. A interpretação da profundidade do bed-rock é considerada duvidosa devido às limitações impostas pela linha de emissão, contudo, trabalhos de pesquisa directa efectuados confirmaram a ocorrência de uma fossa nos limites espaciais previstos.

A sequência eléctrica reconhecida inclui um troço superior até à profundidade de cerca de 190m, compatível com a ocorrência de águas potáveis, e uma camada na base dos depósitos detríticos compatível com a ocorrência de depósitos argilosos ou alternativamente com depósitos detríticos contendo águas de mineralização elevada (figura 36). Estes dados permitem antever a possibilidade de ocorrência em profundidade, na parte central da fossa, de um depósito detrítico eventualmente em comunicação com uma importante armadilha fissural responsável pela emergência de fluidos geotérmicos (Carvalho & Silva, 1988).

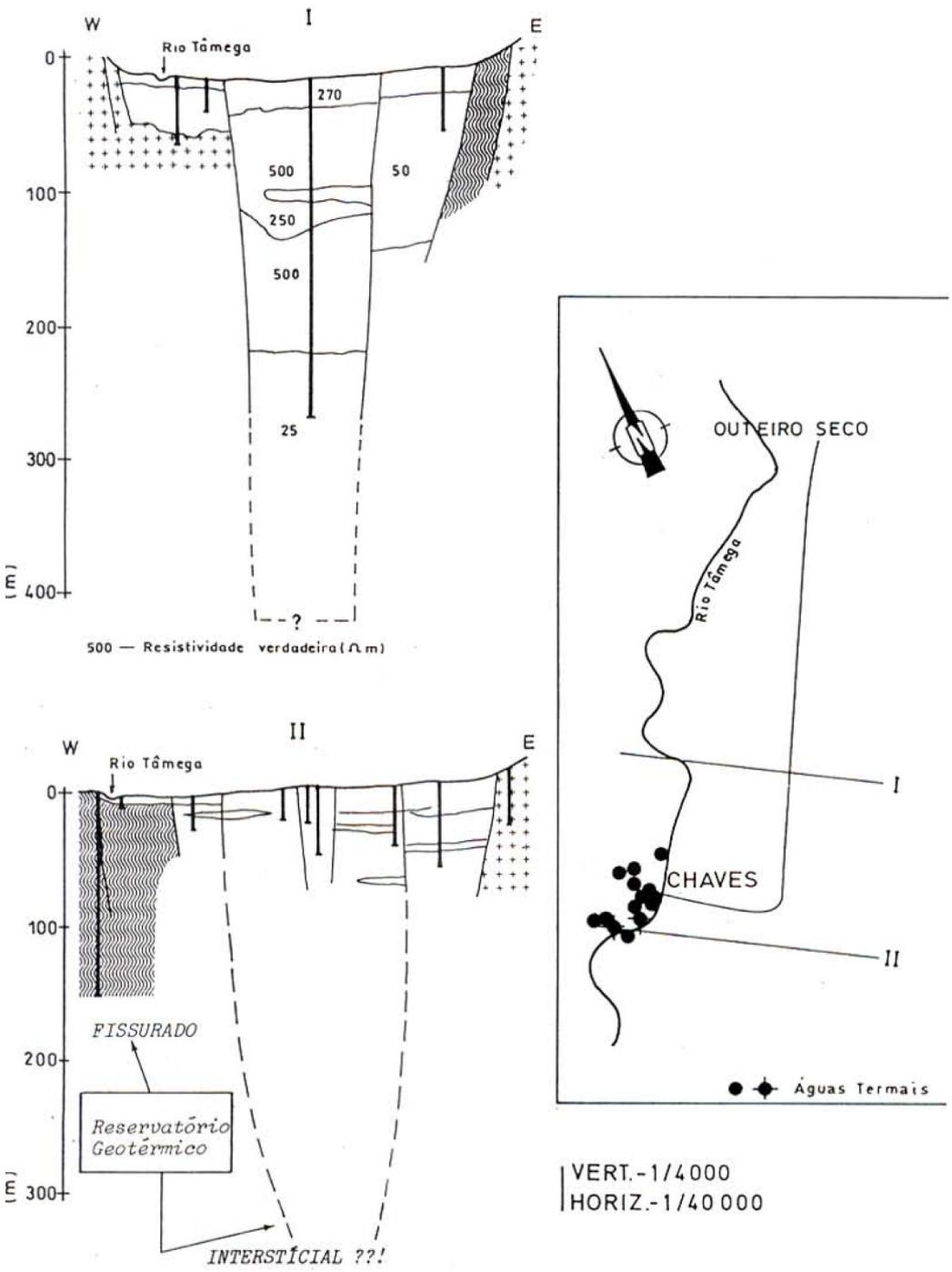
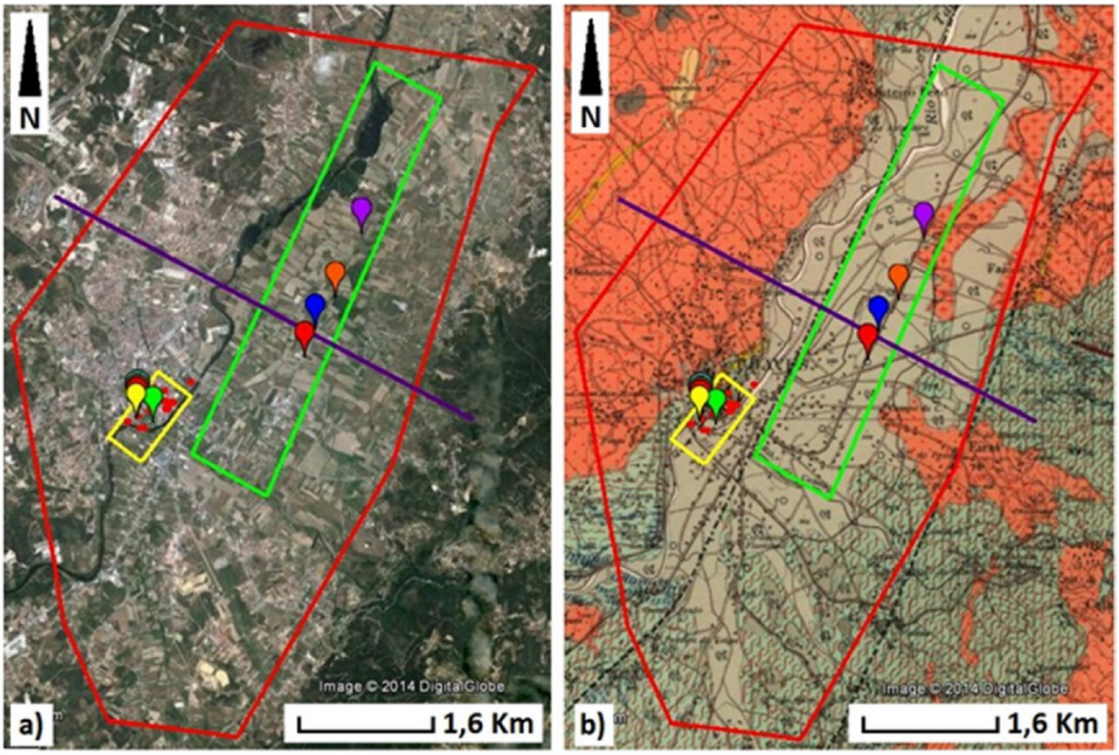
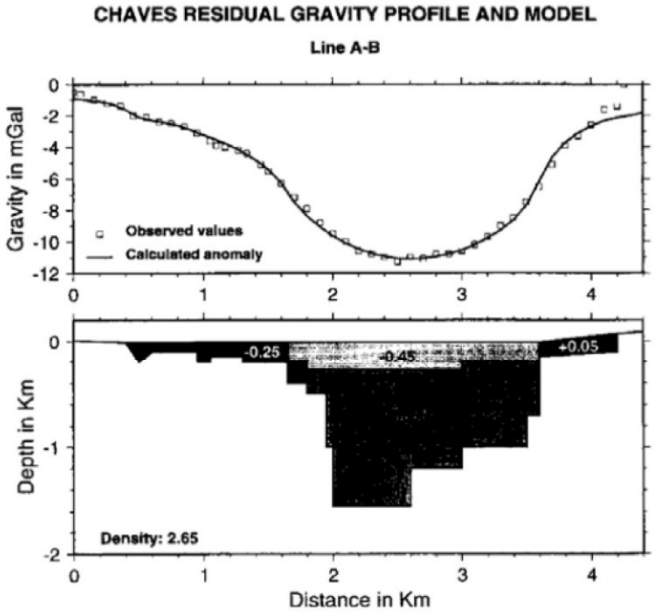


Figura 36. Modelo conceptual proposto em Carvalho & Silva (1988).

Em 1997, um estudo de modelação por métodos gravimétricos sugere que a parte mais profunda do graben apresenta cerca de 1 km de largura e inscreve-se na zona central da bacia numa faixa ao longo da falha Chaves-Verín, alcançando proximamente 1,6 km de profundidade no ponto mais profundo (figura 37). Refira-se que a delimitação apresenta para a zona mais profunda do graben é coincidente com a proposta de localização do reservatório geotérmico na zona de descarga (GeothermEx, Inc., 2010).





Densidade assumida para o leito rochoso – 2.65 g/cm^3.
Densidade assumida para os sedimentos – 2.35 g/cm^3 (excepto perto da superfície).

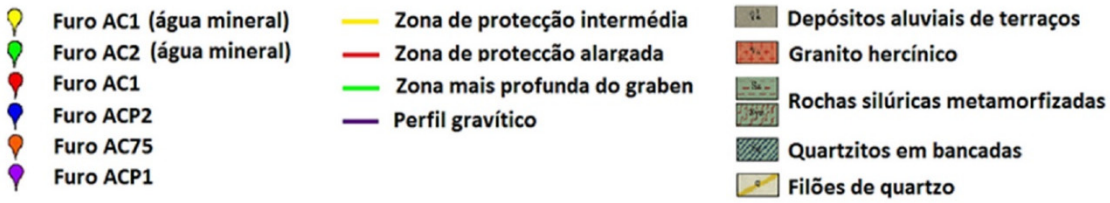


Figura 37. Localização da zona de fossa coincidente com o suposto reservatório geotérmico: a) enquadramento geográfico em imagem satélite; b) enquadramento na carta geológica 1/50000) e exposição do perfil e modelo gravimétrico (GeothermEx, Inc., 2010).

Com base em levantamentos eléctricos e geotermómetros químicos, é apresentada uma proposta apontando a evolução em profundidade do preenchimento do graben conjuntamente com um modelo de circulação, sugerindo as variações térmicas experimentadas pelo fluido ao longo do seu percurso subterrâneo e a direcção segundo a qual se movimenta no percurso de ascensão até à superfície.

O modelo indica uma zona associada a um reservatório geotérmico na parte central do graben, o qual encontra-se delimitado por rochas de maior resistividade. Esta formação, cujo limite superior constituir-se-á por sedimentos menos permeáveis entre os 400 e 200 m de profundidade, enquadra a espessura máxima no centro da bacia.

A profundidade do bedrock é sugerida entre 700 metros nas margens do graben e 1.500 metros na zona central, constituindo-se por granitos e rochas metamórficas compreendendo aproximadamente (figura 37): (a) xistos para Sul do furo ACP1 e granitos ao Norte, e (b) xistos para Este do furo ACP2 e granitos a Oeste (GeothermEx, Inc., 2010).

O sistema hidromineral é recarregado por infiltração de águas meteóricas a cotas relativamente elevadas, por exemplo na parte NE da depressão de Chaves, as quais, em fluxo descendente (possivelmente) por falhas ENE-WSW, atingem elevada profundidade (cerca de 3 Km) onde contactam fluidos mineralizados profundos e ricos em CO2 com fluxo ascendente provenientes do manto, ascendendo, posteriormente, e já mineralizadas, através de falhas profundas relacionadas com a formação do Graben devido a artesianismo motivado por convecção - figura 38 (Machado, 2009).

Durante a ascensão é formado o aquífero horizontal em meio poroso, instalado nos sedimentos sob o bedrock, o qual se localiza de forma mais proeminente na zona central da bacia de Chaves até 1000 a 1200 m de profundidade, compreendendo tecto impermeável localizado entre 400 e 200 m de profundidade.

Posteriormente, a água mineral mantem movimento ascendente através de falhas N70°-80° E, N20°-30° W e NNE-SSW (figura 38), especialmente em nós tectónicos de intercepção entre si (Santos et al., 1996; Duque et al., 1997; Machado, 2009).

Nas imediações da cidade de Chaves, a migração ascendente da água mineral ocorre através da falha NNE que define a fronteira W de preenchimento do graben e, provavelmente, mais perto da superfície, o fluido geotérmico encaminhar-se-á através do cruzamento estrutural entre a falha de delimitação do graben com outras de direcção ENE (N70°E), acabando por emergir no campo hidrotermal a SE da cidade de Chaves, estando as emergências relacionadas a uma zona muito fracturada a Oeste da caixa de falha que delimita a fronteira Oeste do Graben (GeothermEx, Inc., 2010).

Nesse circuito, a água circula por granitos, à excepção da zona de descarga na cidade de Chaves, onde circula por metassedimentos, e sofrerá, no seu percurso descendente, acréscimo da temperatura de 13 °C, na recarga, para 120 °C, na zona de circulação mais profunda, aumentando também o teor em água mineral. Por oposição, no movimento ascendente, a temperatura diminui para cerca de 75 °C na zona de descarga.

Estima-se que o tempo inerente ao percurso da água seja superior a 150 anos, compreendendo circulação com velocidade significativa - 91,45 m/ano (Duque et al., 1997).

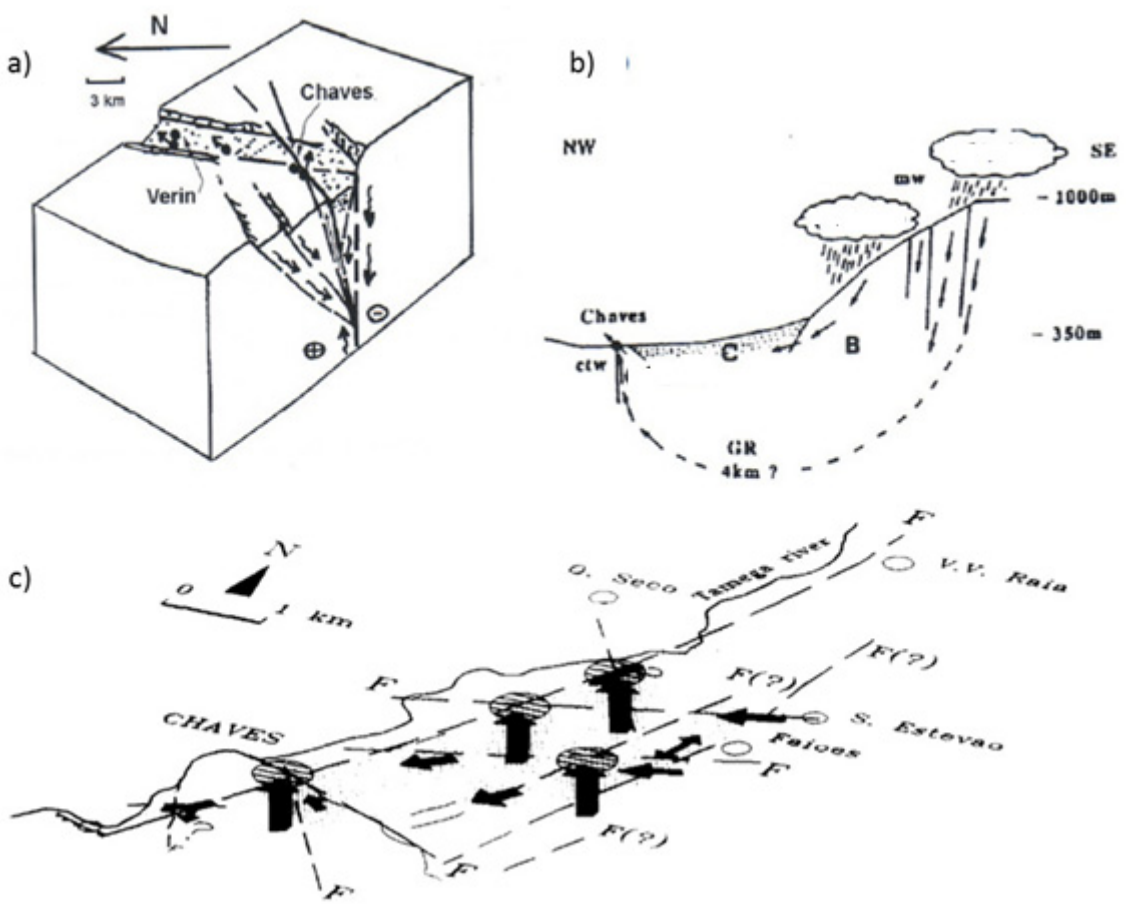


Figura 38. Modelos de circulação propostos segundo a bibliografia: a) Modelo geral de circulação das águas minerais de Chaves (Machado, 2009); b) Modelo de circulação das águas mineral na bacia sedimentar de Chaves (Machado, 2009); c) Representação horizontal do modelo de circulação das águas minerais de Chaves (Santos et al., 1996).

Analisando as propostas apresentadas torna-se consensual que o modelo conceptual para a zona de descarga do campo geotérmico de chaves aproximar-se-á do exposto acima, até porque, para além da convergência de ideias entre si, várias evidências apontam para a validação de algumas conjecturas mencionadas (GeothermEx, Inc., 2010):

- A ascensão de fluidos geotérmicos a partir do leito rochoso para alimentar as nascentes de água quente pode ser bem localizada no graben pela intersecção da (s) falha (s) com tendência NNE com outras falhas de tendência ENE;
- Uma vez que a água termal tem sofrido pouca ou nenhuma mistura com águas superficiais meteóricas, é provável que a conduta(s) de ressurgência não contacte com a superfície ou com os aquíferos superficiais, excepto na área da nascente termal;
- A taxa de descarga total do sistema relata cerca de 10 L / s. Esta taxa é provavelmente baixa o suficiente para permitir o arrefecimento da água durante a subida;
- O quimismo da nascente é compatível com residência em profundidade em maciço granítico. Análises isotópicas do carbono total presente nas águas Chaves sugerem que o CO2 tem origem profunda (manto), enquanto as proporções de isótopos de hélio nos gases sugerem que 90% de hélio vem da crosta (granitos).

Contudo, embora as conceptualizações apontem no mesmo sentido, estão ainda por apurar e especificar várias particularidades (GeothermEx, Inc., 2010):

- As estimativas de localização do leito rochoso em profundidade não são consideradas altamente precisas, assim como a distribuição das rochas que o constituem;
- Embora os resultados de vários estudos de resistividade tenham sido utilizados para inferir a presença de um aquífero termal no preenchimento da bacia (graben), a influência dos minerais de argila nos dados de resistividade não é clara. Um ou mais aquíferos podem estar presentes em um ou mais níveis, mas isto permanece incerto;
- É certo que a água termal de Chaves ascende ao longo de planos de falha e / ou fracturas no leito rochoso da bacia, provavelmente perto da cidade de Chaves, mas a localização exacta destas estruturas permeáveis ainda não está estabelecida. A circulação em falhas delimitadoras do Graben e falhas mais profundas localizadas na parte central da bacia são possibilidades.

Das propostas apresentadas deve-se destacar a possível existência do aquífero geotérmico em profundidade com circulação através de poros que, a confirmar-se, perspectivará de forma nova a captação de fluidos geotérmicos em Chaves. Em termos de reservatório, ao invés do clássico binómio dos meios fissurados (transmissividade elevada, elevadíssima neste caso, e coeficiente de armazenamento muito baixo) que têm sido objecto de pesquisa para exploração, poderá antever-se a ocorrência de coeficientes de armazenamento bastante mais elevados nos interstícios do aquífero poroso supostamente existente, permitindo, certamente, condições de exploração mais flexíveis. A nível térmico, a ocorrência do suposto aquífero poroso poderá resultar também numa mais-valia, já que, em virtude da maior profundidade, poderá proporcionar a captação de fluidos geotérmicos alguns graus centígrados mais elevados relativamente à temperatura actual de captação (estima-se que o gradiente geotérmico nos sedimentos da bacia ronde os 62°C/km).

Para além disso, teríamos um sistema geotérmico fissural alimentando formação detrítica com permeabilidade de interstícios, na qual seria previsível efectuar captações geotérmicas com risco geológico relativamente pequeno (Carvalho & Silva, 1988).

Parte 4

Caso de estudo

11. A captação CC3, importante fonte de informação

O foco de estudo do presente documento tem por base os trabalhos de construção da captação CC3. A captação, localizada no largo do Tabolado (Lisboa Hayford-Gauss IgeoE x - 255088,9 m; y - 530025,9m) (figura 39) e realizada com o objectivo de captar água mineral natural para reforço de caudal das Caldas de Chaves, constituiu um caso de sucesso tanto a nível geotérmico como de caudais, proporcionando, adicionalmente, uma importantíssima fonte de informação para o objectivo da presente investigação - o modelo de circulação do aquífero mineral de Chaves na zona de descarga.

A partir da análise dos trabalhos de construção da captação pretende-se adquirir informação que permita posteriormente, em conjunto com as informações providenciadas pelas captações já realizadas (AC1 e AC2), e investigações geológicas e geofísicas, elaborar com relativa solidez um modelo conceptual para a zona de descarga do aquífero termal de Chaves.

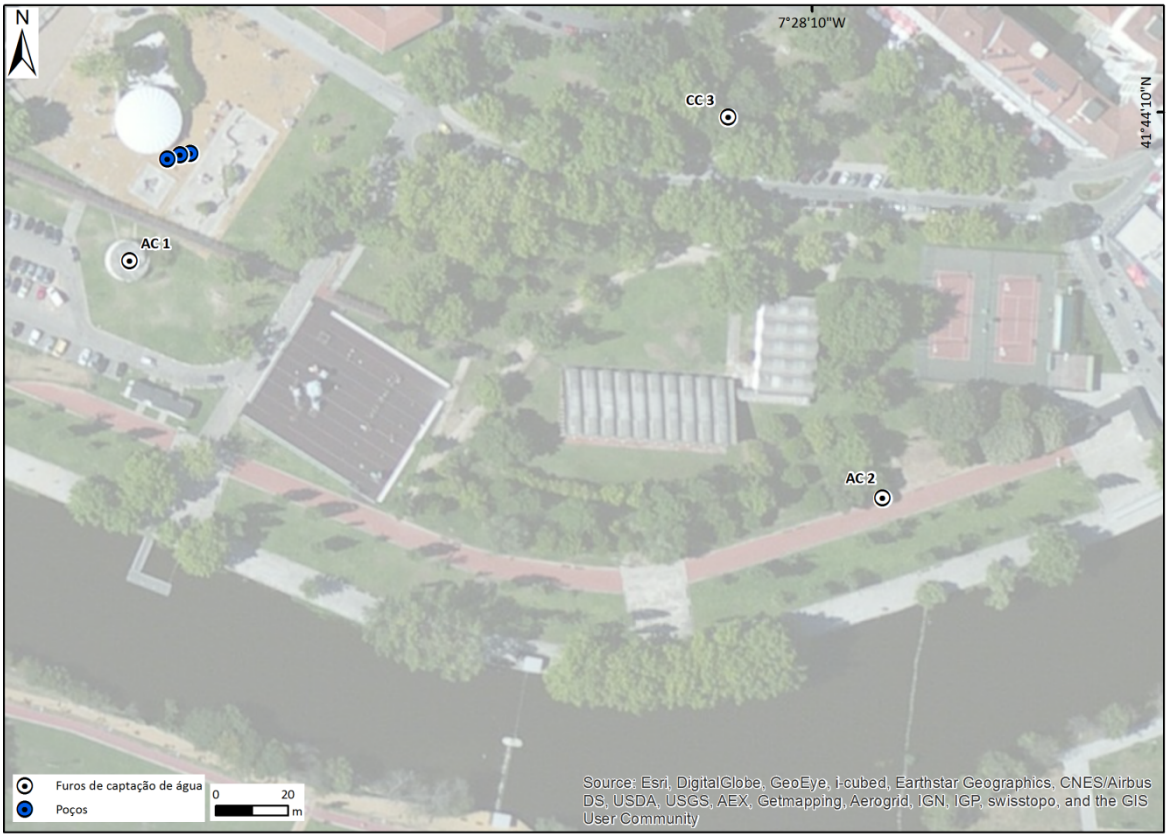


Figura 39. Localização das captações de água mineral AC1, AC2 e CC3.

Os trabalhos inerentes à implantação e construção de CC3 (prospecção, pesquisa e captação) constituem uma fonte de informação válida e muito útil, destacando-se desde já a obtenção de dados a diferentes escalas (relativamente á área da zona de descarga conhecida). O resultado da campanha de prospecção geofísica é um meio de análise que permite obter conhecimento genérico para "toda" a zona de descarga, que, cruzado com a informação proveniente dos trabalhos de pesquisa e captação, esta de carácter pontual (condicionada às imediações da captação), mas de elevado detalhe, permitirá a extrapolação de informação chave para toda a zona em estudo, culminando na proposição de um modelo conceptual consistente.

12. *Aquisição de informação hidrogeológica com base nos trabalhos de construção da captação CC3*

Este tópico tem por objectivo reunir um conjunto de informações base. Para tal, será analisada a campanha de geofísica elaborada na fase de prospecção; o controlo hidrogeológico, cuttings de perfuração e diagrafias diferidas resultantes da fase de pesquisa; o projecto de construção da captação; e, por último, os ensaios de caudal e inspecção vídeo realizados com intuito de avaliar a boa execução da mesma.

12.1. Trabalhos de prospecção

No âmbito dos trabalhos de prospecção para localizar a captação CC3 foi executada uma campanha de prospecção indirecta de superfície, que incluiu prospecção eléctrica e prospecção sísmica de refracção e reflexão. (OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)

A partir dos perfis obtidos pela campanha de geofísica e do respectivo relatório desenvolvido pela OCSA Prospecciones y Estudios S.L. (2012), é possível apontar inúmeras ilações, as quais se expõem nos tópicos seguintes.

12.1.1. Prospecção indirecta

O objectivo principal das investigações é a detecção de estruturas geológicas (falhas ou eventualmente filões subverticais) onde circulam fluidos geotérmicos sob a cobertura aluvionar, dando principal atenção ao desenvolvimento em profundidade da falha de orientação NNW-SSE que passa pelo actual buvette (falha de Rivelas), comummente designada neste documento por F1 (figura 40) e que se suspeita ter papel fundamental na ascensão de água mineral.

Para cobrir o dito objectivo recorreu-se à realização de:

- Sísmica Reflexão de alta definição, para delinear o desenvolvimento em profundidade da falha mencionada e detecção de possíveis falhas e fracturas subverticais;
- Tomografia Eléctrica, para detecção de zonas circuladas com fluidos hidrotermais.

Por forma a correlacionar a informação adquirida pela prospecção sísmica com as litologias e estruturas potencialmente circuladas presentes na zona de descarga, confrontaram-se os perfis geosísmicos resultantes com os cortes das captações já realizadas.

Sísmica de reflexão de alta definição

A campanha de sísmica de reflexão desenrolou-se através de cinco perfis sísmicos (PSX-1, PSX-2, PSX-3, PSX-4 e PSX-5 - anexo VIII) implantados segundo a figura 42. Nos 5 perfis Interpretaram-se 6 grupos fundamentais de horizontes/unidades de reflexão que se identificam pela sua cor até cerca de 500 a 550m de profundidade.

O primeiro conjunto, realçado a cor laranja, representa os níveis associados às camadas mais superficiais de alteração. Abaixo desta camada meteorizada (laranja) encontramos a segunda unidade, constituída por um conjunto de reflexões desenhadas a “castanho” e com carácter sísmico de aspecto bastante regular derivado de reflexões relativamente ordenadas. Os horizontes sísmicos subsequentes, definidos a cor verde, azul e rosa, de acordo com a sua evolução em profundidade, correspondem a materiais geológicos progressivamente mais compactos e sãos, de acordo com a sua velocidade sísmica (crescente) e número de falhas.

Sobre os horizontes acima mencionados verifica-se um nível demarcado a branco. Este corresponderá a aluviões superficiais dispostos desde a superfície até às capas superficiais de alteração representadas a laranja.

Estima-se que a circulação de água mineral estará associada à presença de zonas de fracturação. Das fracturas ou falhas definidas nos perfis sísmicos, as mais importantes são as desenhadas com traço grosso, sendo que os pontos mais destacáveis se apresentam no quadro 11.

Quadro 11. Pontos destacáveis nos perfis de reflexão sísmica.

Pontos mais destacáveis nos perfis de reflexão sísmica	
Perfil	**Observações**
PSX-1	A falha principal F1, que aflora na vertical dos pontos 22-23, desenvolvendo-se em profundidade pendendo para SE. Entre os pontos 70 e 75, a falha F1 morre na intercepção com uma outra falha importante (F2), esta, com pendor contrário a F1, poderá ter um papel importante na ascensão de água mineral, contudo, uma vez que os restantes perfis realizados não abrangem esta estrutura, não é possível retirar ilações a esse nível, ficando-se apenas pela suspeita de corresponder a uma estrutura importante na ascensão de água mineral.
PSX-2	A falha principal F1 aflora na vertical do ponto 30. Verifica-se uma densidade considerável de descontinuidades ao longo de todo perfil, embora muitas delas, desenvolvidas em profundidade, não apresentam continuidade no horizonte definido a laranja.
PSX-3	A falha principal F1 aflora na vertical do ponto 42. Todo o perfil apresenta um elevado número de fracturas, compreendendo maior densidade entre os pontos 1 e 46.
PSX-4	A falha principal F1 aflora na vertical do ponto 10 e, relativamente aos restantes perfis sísmicos, aqui desenvolve-se de forma menos regular, descrevendo uma forma algo côncava. Acima da cota 220 m o pendor é mais elevado que o observado nos restantes perfis e, abaixo da referida cota, é menos acentuado, voltando a descrever-se acentuado a partir do ponto 70. Entre os pontos 30 e 45 desenvolvem-se duas falhas sub-verticais próximas e paralelas, entre as quais poderá ocorrer uma zona de maior fracturação. Essa zona, devido á sua espessura e ao contacto com a falha F1 (estrutura que se suspeita ser responsável pela ascensão da água mineral emergente nos campos do Tabolado) entre os pontos 39 e 42 á cota 204, onde finda, poderá constituir uma armadilha interessante para captação de água mineral.
PSX-5	A falha principal F1 cruza o perfil de forma oblíqua sem aflorar á superfície, desenvolvendo-se desde a cota 149, abaixo a vertical do ponto 60, até á cota 320, na vertical do ponto 1.

A falha F1, descrita nos perfis sísmicos PSX-1 a PSX-5, tem sido identificada (por OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012) como um mesmo acidente que viria a representar um movimento gerado por uma falha inversa com papel preponderante na ascensão de água mineral para a zona de descarga nos Campos do Tabolado.

Tendo em conta a sua importância, representou-se na figura 40 a sua evolução em profundidade desde a superfície até a cota 240, a partir do qual se identifica o seu desenvolvimento com direcção N 20º W. Como se pode observar claramente pela diferente geometria em ambos lados do rio Támega, a deslocação desta falha entre o perfil PSX-1 e o conjunto de perfis PSX-2 a PSX-5 poderá assinalar a presença de um acidente (cisalhamento) possivelmente localizado sob o rio Tâmega, que deslocará o conjunto geológico lateralmente para Oeste.

É importante destacar, a par de falha F1, a possível zona de maior fracturação apresentada no perfil PSX-4, já que a sua ligação a F1 poderá resultar numa armadilha interessante para a captação de água mineral, e a falha F2 identificada em PSX-1, estrutura onde morre F1 e que possivelmente estender-se-á para Norte do Tâmega, podendo, nesse caso, e segundo disposição de ambas as estruturas equivalente à verificada a Sul do Tâmega, alimentar F1.

O facto de F2 não aflorar em nenhum dos perfis sísmicos e apenas se visualizar em PSX-1 impossibilita a averiguação do seu desenvolvimento. Porém, pela sua espessura apresentada nos

perfis (semelhante a F1), espera-se que se desenvolva com direcção equivalente a F1 (N 20º W), mas com pendor contrário, interceptando-se entre si transversalmente.

Em todos os perfis sísmicos são observadas ainda diversas fracturas subverticais cortando F1 transversalmente, pelo que podem corresponder a estruturas com potencial na ascensão de água mineral à zona de descarga.

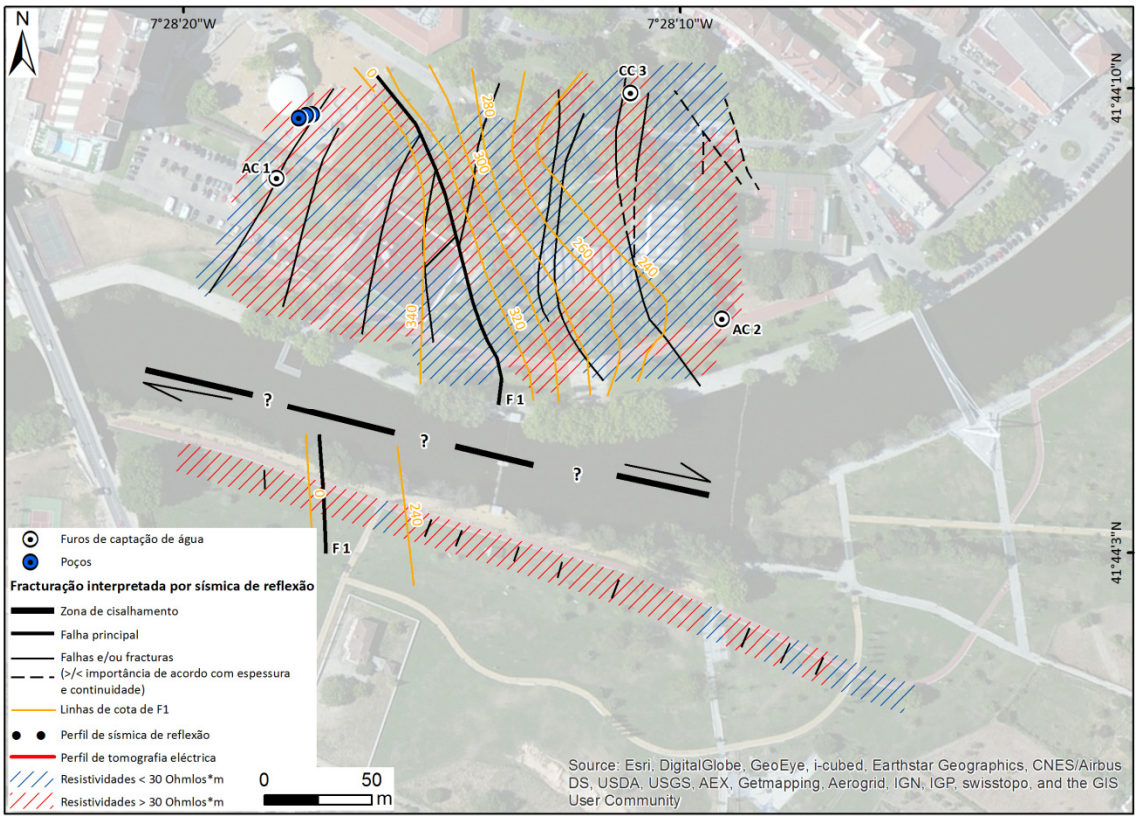


Figura 40. Evolução de F1 em profundidade (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

Correlação entre a prospecção sísmica e as captações existentes (AC1 e AC2)

Para realizar a análise dos resultados sísmicos obtidos correlacionaram-se os resultados dos perfis geosísmicos com os cortes das sondagens mecânicas AC1 e AC2.

O furo AC1 localiza-se cerca de 10m a Sul do alinhamento do ponto 19 do perfil PSX-3, enquanto o furo AC2 localiza-se a menos de 3 m a Sul do ponto 59 do perfil PSX-2 (figura 42). As colunas de ambos furos encontram-se demarcadas nos perfis geossísmicos (figura 41).

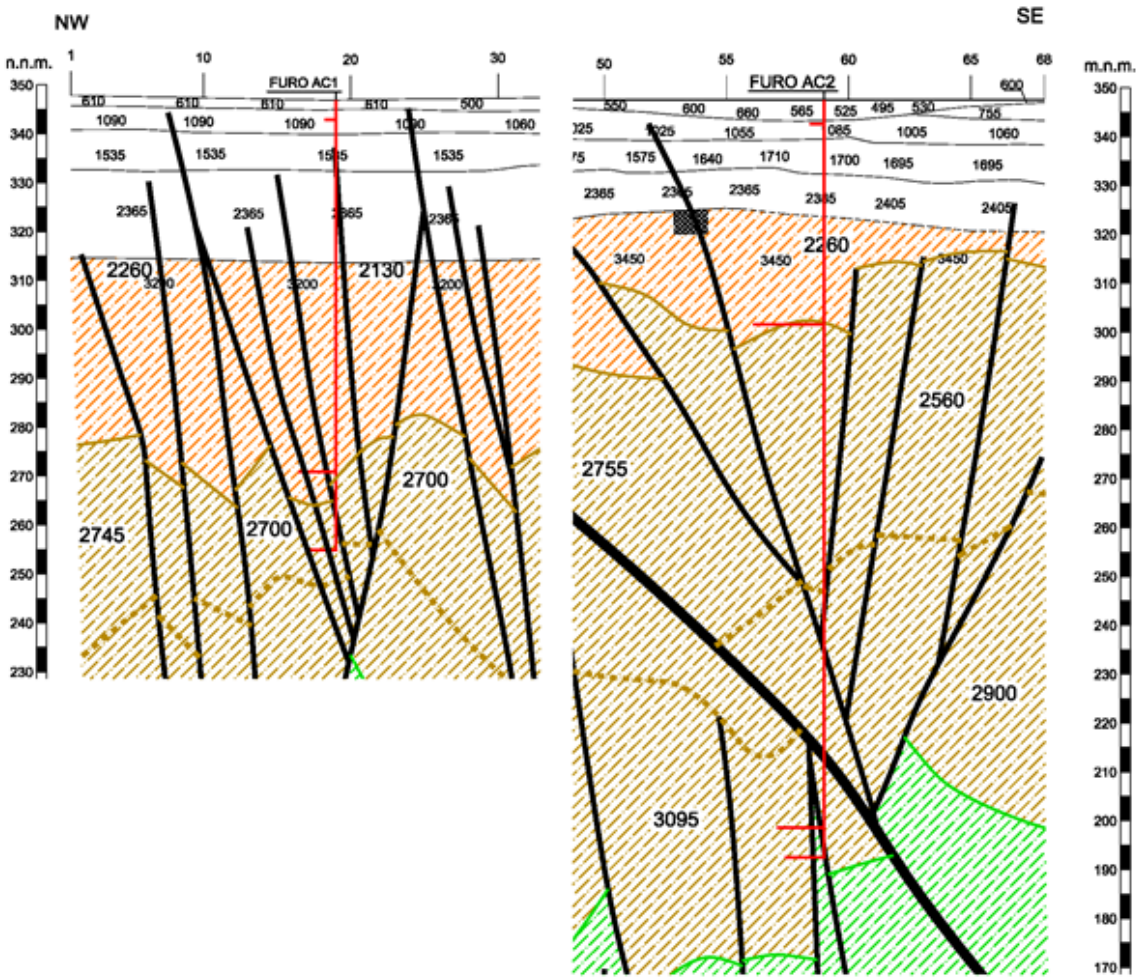


Figura 41. Sobreposição de AC1 e AC2 nos perfis PSX-3 e PSX-2, respectivamente (para melhor compreensão ver figura 32) (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

Ao sobrepor os ditos furos com os cortes geosísmicos obtidos é possível indicar correlações, as quais se apontam no quadro 12.

Quadro 12. Correlações resultantes da sobreposição das captações existentes com os perfis sísmicos próximos às mesmas.

Correlações resultantes da sobreposição das captações existentes com os perfis sísmicos próximos ás mesmas		
Sobreposição		**Correlações**
Captação	**Perfil**	
AC1	PSX-3	Na definição da espessura da aluvião superficial há uma diferença de 2 m que, quiçá, possa ser devido à distância a que se localiza a sondagem relativamente ao perfil (~10m). Abaixo da aluvião localiza-se uma primeira camada constituída por intercalações de Filito alterado e quartzo brechoide, que se estende até os 76 m. Esta camada, como podemos observar no corte geosísmico, coincide com a espessura dos materiais situados acima da formação identificada a castanho, a qual indica a entrada no filito são. É visível ainda no corte geosísmico que o segmento final do furo, localizado no filito são (76-92 metros), intercepta várias falhas quase subverticais.
AC2	PSX-2	A espessura da aluvião definido pelo furo coincide com a espessura da primeira camada definida com a sísmica de refracção com 565-525 m/s de velocidade de onda P. A camada de filito alterado com intercalações quartzosas, que se estende até os 46 metros de profundidade, coincide novamente com o conjunto de materiais existentes até o tecto da formação identificada a castanho, passando no resto do furo a um filito são. O furo atravessaria a falha principal (F1) entre os 132 e 136 metros de profundidade e, a partir do metro 149 até o final da sondagem (155m), localizar-se-ia numa falha subvertical.

À vista do mencionado, e extrapolando ao resto dos perfis, cabem os seguintes comentários:

- A aluvião poderá ser definida com a sísmica de refracção superficial pela primeira camada detectada com velocidades inferiores a 800 m/s e, quiçá, aos segmentos com velocidades muito próximas a 1000 m/s, os quais poderão representar tramos com maior porção de cascalho.
- A espessura de filitos alterados virá definida pela posição do tecto da reflexão apresentada a castanho, que indicará a passagem para os filitos sãos.

Com base na informação geológica disponível, os restantes níveis geosísmicos detectados abaixo dos horizontes acima mencionados corresponderão a filitos mais sãos e compactos, conforme aumenta a velocidade sísmica média, não se podendo apontar uma mudança litológica em profundidade por uma mudança nas velocidades sísmicas obtidas ou pelo carácter das reflexões que constituem as secções até às profundidades pesquisadas.

Tomografia eléctrica

Para melhor percepção e análise das evidências resultantes das observações resultantes da construção dos perfis de tomografia eléctrica, tecem-se de seguida comentários organizados segundo dois grupos de perfis, um constituído pelo perfil TM1 (anexo VIII), localizado na margem Sul do rio Tâmega, e outro constituído pelos restantes perfis: TM2, TM2, TM3, TM4 e TM5 (figuras 7 a 11 - anexo VIII), localizados na principal área de incidência dos estudos, a margem Norte do Tâmega.

Segundo o disposto, expõe-se em seguida o quadro 13, onde se reúne os principais destaques dos perfis de tomografia eléctrica.

Quadro 13. Principais evidências observadas nos perfis de tomografia eléctrica.

Principais evidências observadas nos perfis de tomografia eléctrica	
Perfis	**Observações**
TM1 (localização a Sul do Tâmega)	Á superfície detectam-se resistividades médias-altas (100-300 Ohm.m), salvo na zona central do perfil, onde as resistividades médias (80 Ohm.m) prolongam-se em profundidade. Exceptuando a zona central do perfil, abaixo da zona superficial de resistividades médias-altas, detectam-se resistividades baixas a bastante baixas (60-10 Ohm.m), sem que os trechos de resistividades mais baixas (10-30 Ohm.m) cheguem a apresentar continuidade lateral. A natureza litológica destas resistividades poderá corresponder a uma aluvião constituída por cascalheiras no trecho superficial de resistividades médias-altas, mas só nos primeiros metros, enquanto as resistividades mais baixas (valores inferiores a 30 Ohm.m) poderão corresponder com zonas com águas hidrominerais. O resto do trecho, de resistividades médias-altas e das demais resistividades, poderão corresponder a xistos com certa presença de águas minerais.
TM2 a TM5 (localização a Norte do Tâmega)	Á superfície detecta-se novamente resistividades médias-altas, geralmente superiores a 300 Ohm.m, que neste caso não apresentam continuidade lateral em nenhum dos quatro perfis, visto que os trechos de resistividades baixas/muito baixas (1-30 Ohm.m), que se localizam abaixo, afloram frequentemente. De igual forma, o trecho de resistividades baixas/muito baixas também não apresentam continuidade lateral, pois são frequentemente interceptadas pelos trechos de resistividades mais altas da superfície. Nos perfis TM-2 e TM-3, fundamentalmente, as resistividades médias/altas prolongam-se em profundidade abaixo dos trechos de resistividades baixas/muito baixas. Este efeito também se produz nos perfis TM-4 e TM-5, desta feita de forma mais localizada e com muita menor extensão lateral, já que, nestes, predominam as resistividades baixas (10-30 Ohm.m).

A natureza litológica das resistividades indicadas nos perfis eléctricos poderão corresponder, nos trechos de resistividades médias/altas, a uma aluvião em superfície e filitos (xistos) em profundidade, com escassa ou nula presença de águas minerais, conforme aumenta a resistividade, ou maior presença de águas minerais, conforme diminui a resistividade.

É de destacar os trechos com resistividades inferiores a 1 Ohm.m, detectados no perfil TM-2 nas proximidades do furo AC2, que poderão corresponder a águas minerais ou zonas contaminadas.

Síntese de dados de tomografia eléctrica e de sísmica de reflexão

A partir da sobreposição dos perfis de Tomografia Eléctrica com os perfis de Sísmica de Reflexão de alta resolução pode-se identificar algumas correspondências, as quais se expõe no quadro 14.

Quadro 14. Análise da sobreposição dos perfis de tomografia eléctrica e de sísmica de alta resolução.

Análise da sobreposição dos perfis de tomografia eléctrica e de sísmica de alta resolução	
Perfís sobrepostos	**Observações**
PSX-1 e TM1	A falha principal F1 chega às proximidades da superfície atravessando zonas de resistividades médias-baixas (60-30 Ohm.m).
PSX-2 e TM2	A falha principal F1 atinge as proximidades da superfície atravessando um segmento de resistividades médias-altas (80-150 Ohm.m). No perfil TM2 observa-se que desde o seu início até á falha principal F1, e escassos metros mais, surgem resistividades médias-altas a altas, enquanto a nordeste da falha principal se detectam fundamentalmente resistividades baixas a muito baixas. No entanto, pela forma das isorresistividades, parece que o trecho de resisvitidades baixas a muito baixas poderá corresponder a uma camada subhorizontal confinada entre uma zona superficial de resistividades altas a muito altas (superiores a 300 Ohm.m) e outra inferior de resistividades médias-altas (80-150 Ohm.m).
PSX-3 e TM3	A noroeste da falha principal F1 as resistividades médias-altas abrangem a maior parte do perfil TM2, aflorando de forma pontual e estendendo-se em toda a profundidade atingida pela investigação, salvo nos primeiros metros do perfil, onde se detectam resistividades baixas. Este trecho de resistividades médias-altas parece estar limitado verticalmente por uma falha vertical que morreria contra a falha F1. A partir de F1, todo o perfil apresenta resistividades baixas (10-30 Ohm.m), com excepção da parte mais superficial, onde se detectam as resistividades médias-altas. As altas resistividades identificadas nas imediações de AC1, e que pelo formato desenvolvido indiciam continuidade para o segmento em que AC1 capta águas minerais, dever-se-á á considerável presença de quartzo nas formações correspondentes, sobrepondo-se a elevada resistividade das formações às condições eléctricas (baixa resistividade) associadas á presença de água mineral.
PSX-4 e TM4	Salvo o segmento superficial de resistividades médias-altas e um pequeno tramo localizado entre os metros 158-180, todo o perfil TM4 se desenvolve em resistividades baixas a muito baixas (30-5 Ohm.m). A falha F1 situa-se no extremo do perfil por um trecho de resistividades baixas e as falhas que no perfil PSX-4 temos considerado como uma possível zona muito fracturada situa-se num trecho de resistividades baixas a muito baixas, em consonância com circulação de água mineral.
PSX-5 e TM5	Os segmentos de resistividades médias-altas que interceptam a tendência geral de resistividades baixas do perfil parecem estar associadas á presença de certas falhas ou cunhas entre falhas bastante verticais.

Num contexto geral, a sobreposição entre os perfis sísmicos e eléctricos localizados a Norte do Tâmega permite inferir a associação de zonas de baixa resistividade (indicio de circulação de água mineral) às descontinuidades subverticais localizadas a Nordeste da falha F1, com a qual contactam, desenvolvendo-se essas zonas de forma mais pronunciada nos locais onde a disposição das estruturas subverticais promovem a formação de cunhas, factores que indicam provável ascensão de água mineral de F1 para níveis subsuperficiais através dessas estruturas.

Para melhor percepção do desenvolvimento das zonas de baixa resistividade apresenta-se a figura 42, onde se representa as falhas presentes e a continuidade lateral da resistividade à cota 330 m, cota esta onde as baixas resistividades (10-30 Ohm.m) desenvolvem maior continuidade lateral.

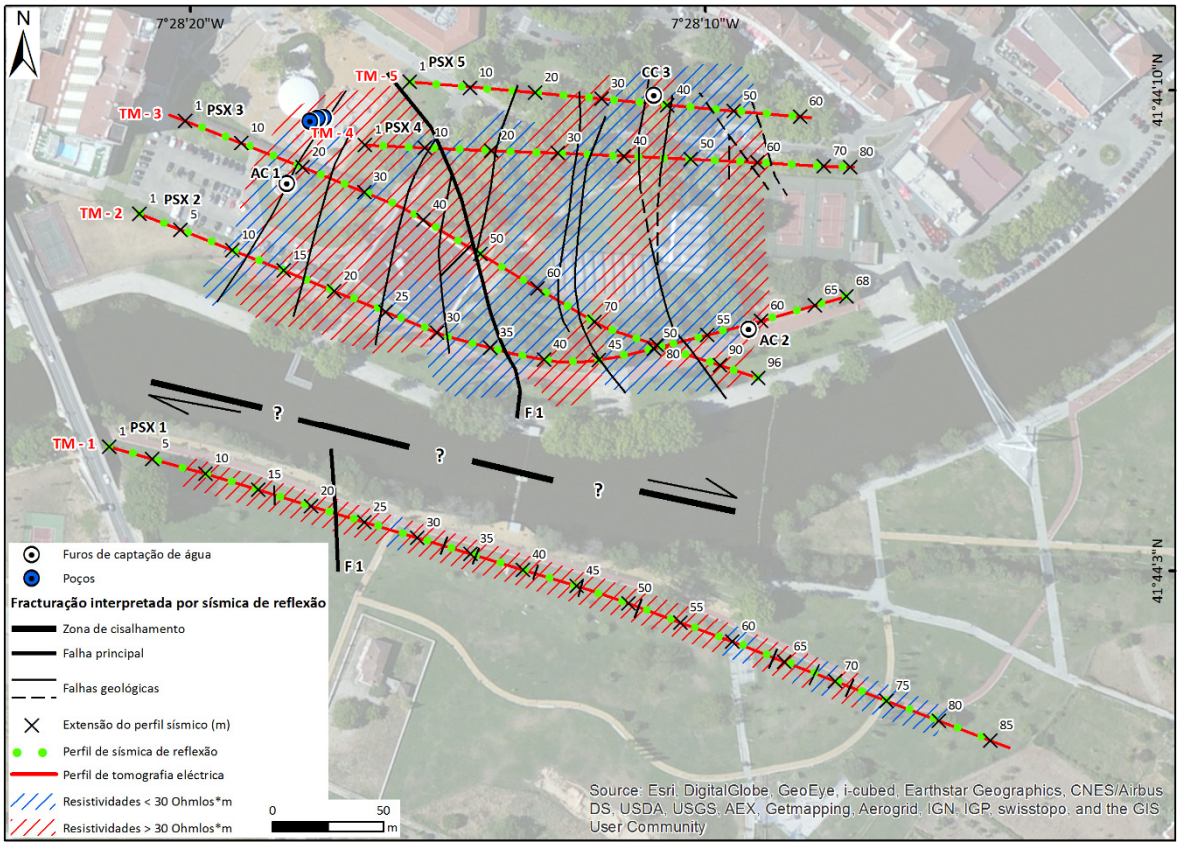


Figura 42. Representação das falhas e da resistividade inferida para a cota 330 m, que corresponde, no conjunto dos perfis, entre 15 a 20 m de profundidade (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

12.2. Trabalhos de pesquisa

O objectivo principal dos trabalhos de pesquisa é a aquisição de informação para (se for o caso) a posterior transformação da pesquisa em captação. Os dados adquiridos através destes trabalhos é de considerável fiabilidade, visto que, de certa forma, permitem a caracterização geológica e hidrogeológica das formações em profundidade.

Embora esta fonte de informação seja pontual, correspondendo apenas às imediações da sondagem, o seu confronto com os resultados da campanha de prospecção proporcionará a extrapolação para toda a zona em estudo, facultando portanto informação fulcral para a elaboração do modelo conceptual da zona de descarga.

12.2.1. Perfuração da sondagem CC3

Localizada no Maciço Antigo, a sondagem de pesquisa CC3 (figura 43) desenvolveu-se maioritariamente a martelo de fundo de furo, método tido genericamente como o mais adequado a estas formações. Nos últimos metros de perfuração o método foi substituído pela perfuração à rotary com circulação directa de água devido a particularidades litológicas e condicionantes hidrodinâmicas.

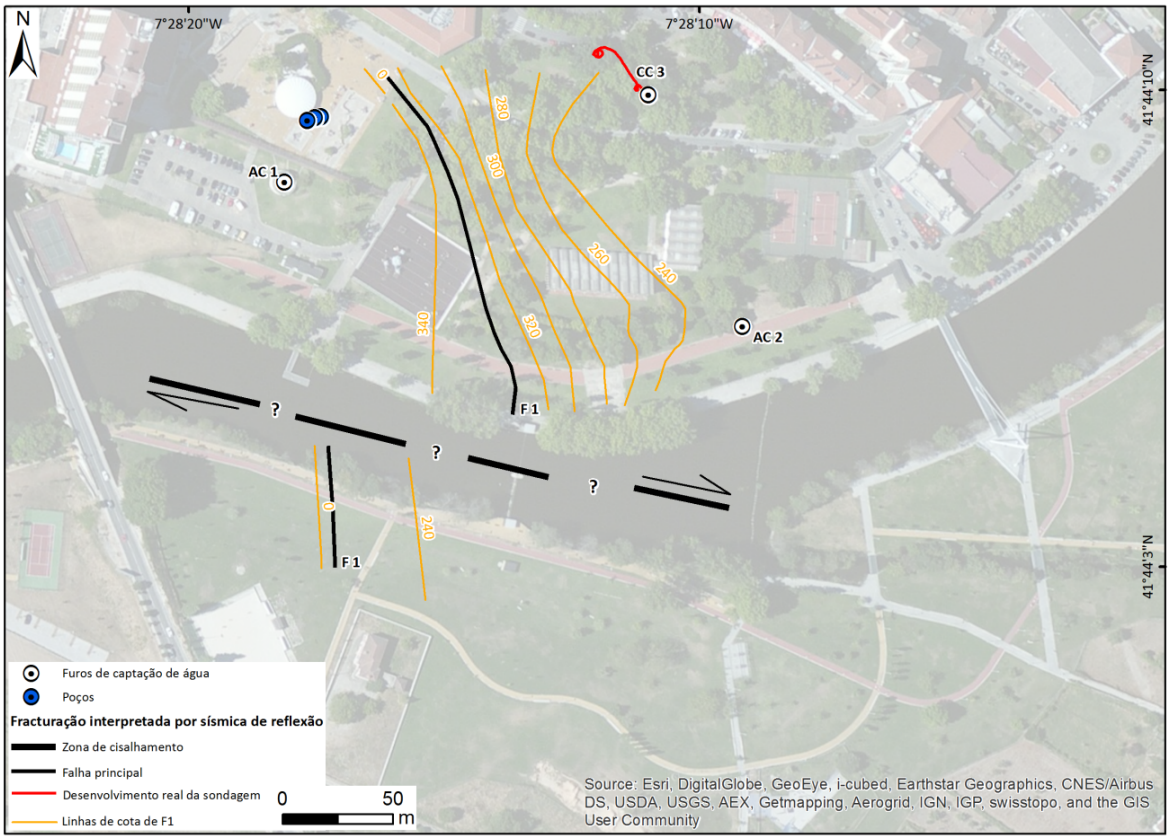


Figura 43. Implantação de CC3 e do respectivo desvio. Comparação do mesmo com o desenvolvimento em profundidade da falha F1 desde a superfície até 100 metros de profundidade (OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

A perfuração da sondagem de pesquisa desenvolveu-se até aos 208 m de profundidade, já com os diâmetros de perfuração estipulados para a futura transformação em captação (tendo em conta o posterior entubamento definitivo em formato telescópico), segundo a geometria transmitida no quadro 15 e figura 53.

Quadro 15.Geometria da sondagem CC3.

Geometria da sondagem CC3					
Perfuração					
Tramo	**Diâmetro**	**Profundidade**		**Objectivo**	
		Topo	**Base**		
1	17 ½"	0	19	Inatalação do isolamento preliminar, conferindo estanqeidade e estabilidade aos primeiros metros da sondagem durante a fase de perfuração.	
2	14"	19	60	Instalação da câmara de bombagem.	
3	8 ½"	60	170	Instalação da coluna de captação (inclusão de tubos ralo).	
4	6"	170	208	Incrementar o avanço da perfuração, o qual foi dificultado pelos elevados caudais afluentes a este nível.	
Tubos de revestimento intercalar					
Tramo	**Diâmetro**	**Profundidade**		**Natureza do material**	**Objectivo**
		Topo	**Base**		
1	9"	0	47,7	Aço carbono	Conferir estabilidade ás paredes da sondagem e estancar preliminarmente níveis circulados que não se pretendem captar.
Método de perfuração:		Martelo fundo furo - 0 aos 180 m de profundidade. Rotary com circulação directa de água - 180 aos 208 m de profundidade.			

Realizar a perfuração com diâmetros nominais o menor possível (tendo em conta a posterior transformação da sondagem de pesquisa em captação) é vantajoso do ponto de vista económico. Diâmetros mais reduzidos conferem maior velocidade de avanço e menor instabilidade das paredes do furo, daí a perfuração em formato "telescópico", que permite ajustar os diâmetros de perfuração às necessidades hidráulicas e às imposições litológicas.

Analisando a tabela acima aponta-se a coluna de revestimento definitiva prevista para a futura captação como a principal responsável pela definição dos diâmetros de perfuração constituintes dos três primeiros tramos de perfuração.

Já a redução que determina o diâmetro de perfuração do tramo 4 não apresenta qualquer relação com o dimensionamento da captação. A redução do diâmetro provém de dificuldades de perfuração impostas pelos elevados caudais de perfuração, que em conjunto com a considerável coluna de água a mobilizar e elevada dureza das formações não permitiu a adequada percussão do martelo-fundo-furo e, consecutivamente, limitou o avanço da perfuração, o que motivou a redução do diâmetro de perfuração com o intuito de facilitar o avanço de perfuração (atente-se ao facto de martelos-fundo-furo de menor diâmetro necessitarem de menor quantidade de ar-comprimido para o funcionamento percutivo regular).

Porém, a utilização de um martelo-fundo-furo de menor diâmetro não solucionou o problema, pelo que, embora o diâmetro da perfuração (9") e os materiais geológicos atravessados apontem o método de perfuração a martelo-fundo-furo como o mais apropriado, esta ferramenta não se mostrou eficiente, impossibilitando a utilização do método, o que motivou a introdução do método rotary com circulação directa a partir dos 180 m de profundidade, utilizando, face à consistência e elevada dureza das formações, tricone como ferramenta de corte (rotação múltipla) e água como fluido de circulação.

Devido ao reduzido avanço de perfuração imposto pela dureza das formações atravessadas à perfuração por rotary, e porque os objectivos em termos de caudal estavam alcançados, foi terminada a pesquisa aos 208m.

Como trabalhos complementares à perfuração instalou-se um isolamento preliminar nos 19m iniciais e uma coluna de revestimento intercalar até aos 47,7m.

O isolamento preliminar destina-se a estabilizar os primeiros metros de sondagem que, dada a elevada instabilidade geralmente associada aos materiais geológicos superficiais, principalmente quando saturados, poderiam colapsar devido à descida do nível de água no interior da sondagem durante a perfuração e/ou à elevada velocidade de ascensão do fluido de circulação (ar + água), situações que promovem a erosão das paredes de perfuração.

Face à menor coerência dos materiais geológicos e à presença de níveis circulados com águas que por serem altamente vulneráveis à poluição não se pretendem captar, até aos 47,7m de profundidade foi instalada uma coluna de revestimento intercalar em aço carbono com a finalidade de conferir estabilidade às paredes do furo e estancar esses níveis circulados.

12.2.2. Controlo hidrogeológico

O controlo hidrogeológico fornece indicadores valiosos para a elaboração/ajuste do projecto da captação, possibilitando avaliar preliminarmente os níveis produtivos, litologias atravessadas e identificar de águas provenientes de diferentes aquíferos, bem como observar influências provocadas pelos trabalhos de perfuração sobre outras captações ou emergências existentes na zona de descarga.

Com recurso ao controlo hidrogeológico apresentado pela Sondalis no relatório de construção da captação CC3 e às notas de campo do Sr. Director Técnico das Caldas de Chaves (Professor Doutor

J. Martins de Carvalho) construiu-se o quadro 16 e 17 e os respectivos gráficos (figura 44 e 45), onde se expõe o desenvolvimento do referido controlo ao longo da execução da sondagem CC3.

a) Evolução dos parâmetros hidrogeológicos medidos em CC3

Cingindo-se apenas à captação CC3, para melhor e mais fácil análise construiu-se o quadro 16, para onde foram extraídos apenas os parâmetros medidos em CC3, incorporando ainda informação respectiva à velocidade de perfuração.

Observando-se os quadros 16 e 17, estima-se que o momento de substituição do método de perfuração a martelo de fundo de furo pelo método à rotary (a ar e depois água com circulação directa) terá ocorrido aos 186m de profundidade, e não aos 180m como indica o relatório de trabalhos original. Atente-se o facto de aos 186m verificar-se um dia de interrupção da perfuração (possível substituição da ferramenta de perfuração) e decréscimo (brusco) da velocidade de avanço, temperatura e condutividade, variações inerentes às condições de perfuração à rotary com injecção de água para o contexto hidrogeológico atravessado pela sondagem a essa profundidade (segundo as exposições mencionadas a partir deste ponto do presente documento).

A análise dos parâmetros de controlo hidrogeológico disponíveis permite a abordagem sob duas vertentes (quadro 16), uma com base nos parâmetros físico-químicos (pH, temperatura e condutividade) e hidrodinâmicos (caudais) da água afluente a CC3 e que posteriormente é transportada pelo fluido de circulação para a superfície, permitindo identificar diferentes tipos de água que afluem à sondagem, e outra segundo a velocidade de perfuração, que fornece indicações sobre a consistência e dureza dos materiais geológicos atravessados.

b) Parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos

A observação dos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos (quadro 16 e figura 44 - observar também figura 53) permite tecer algumas considerações com base nos valores medidos:

- Os valores de pH decrescem com a progressão da perfuração em profundidade;
- A temperatura é crescente até aos 152m de profundidade (profundidade a que se interceptou a falha definida nos perfis sísmicos como F1, que se prevê constituir a principal estrutura na ascensão de água mineral do “tipo Chaves”), estabilizando a partir daí;
- A condutividade eléctrica desenvolve patamares bem definidos ao longo da sondagem, apresentando, à excepção dos últimos 20 m, valores crescentes entre patamares;
- E, por último, os caudais de perfuração crescem com o andamento em profundidade até aos 180 m, verificando-se inversão na ordem dos 3 l/s nos últimos 5 m da perfuração.

Analisando mais pormenorizadamente os parâmetros em estudo é possível estabelecer correlações e retirar algumas ilações, como a identificação de quatro segmentos e dois sub-segmentos (inerentes ao segmento 3) de sondagem com afluxo de águas com parâmetros distintos (quadro 16).

Os quatro segmentos definidos em profundidade ao longo da sondagem encontram-se identificados segundo as variações apresentadas pelos parâmetros pH, temperatura e condutividade das águas que aí afluem, a partir dos quais poder-se-á supor:

Segmento 1 (0 a 13 metros de profundidade)

Constituído por águas “normais” subsuperficiais afluindo à captação com caudal insignificante.

Embora o pH seja algo elevado, talvez derivado a possíveis focos de contaminação (localização em ambiente citadino), as águas presentes definem-se pelos valores de temperatura e condutividade reduzidos, compatíveis com as águas comuns.

Apesar de a captação estar situada algo próxima ao rio Tâmega, não se identificam semelhanças entre as águas deste nível com as águas do rio. Os valores de pH e de condutividade díspares entre as águas deste segmento e as águas do rio (face à suspeita existente sobre as medições realizadas no rio aquando da perfuração, para comparação, foram tomadas as medições aí realizadas durante os ensaios de caudal – quadro 16) indicam não se tratar da mesma água, pelo que as águas que afluem à captação até aos 13 m de profundidade provirão do subescoamento de níveis topográficos superiores e não de recarga a partir do rio.

Segmento 2 (42 a 48 metros de profundidade)

A água aqui presente caracteriza-se pela igualdade de valores nos parâmetros medidos, o que indicia que neste tramo provavelmente apenas existirá um único nível com afluxo de água à captação (38 m) ou a existirem mais estes encontrar-se-ão interconectados.

Analisando os dados disponíveis é notável tratar-se de um nível de transição entre as águas normais do segmento 1 e as águas minerais do "tipo Chaves" que caracterizam os segmentos 4 e 5. Atente-se ao valor da temperatura (46 ^{o}C) intermédio face aos registados no segmento anterior e nos subsequentes, e aos valores de pH e condutividade já relativamente próximos aos valores apresentados pelos segmentos 4 e 5, o que indicia a presença de águas já mineralizadas, mas que ainda não integram os parâmetros das águas "tipo Chaves" (*e.g*. temperatura na ordem dos 75 °C). Ora, como as temperaturas e condutividades elevadas serão provenientes da alimentação profunda a partir do aquífero mineral presente na área em estudo, supõe-se tratar de águas de mistura, compostas por uma porção (considerável) proveniente do aquífero mineral mencionado e outra fracção proveniente de águas "normais" de origem sub-superficial vindas da infiltração e escoamento subterrâneo a partir de cotas topográficas mais elevadas, ou seja, tratar-se-á de águas de mistura com origem nos segmentos 1 e 4, que, de acordo com a proximidade existente entre os valores de condutividade medidos nos segmento 2 e 3 (diferenças na ordem dos 300 a 400 µS/cm), prevalecerá na mistura a presença de água mineral proveniente do segmento 4 (água do "tipo Chaves").

De destacar o facto de surgir neste segmento o primeiro nível (38 m) com afluxo de água a considerar (5,5 L/s).

Segmento 3 (60 a 186 metros de profundidade)

Os valores dos parâmetros aqui medidos enquadram-se já nos definidos para as águas do "tipo Chaves".

Este segmento, o mais extenso entre os definidos, com cerca de 120m de extensão, caracteriza-se por ligeiras oscilações do pH (na ordem das duas décimas) e da condutividade (na ordem dos 110 µS/cm).

A temperatura cresce progressivamente dos 60m (69 ^{o}C) até aos 152m (74 ^{o}C) de profundidade (intercepção com a falha F1), mantendo-se constante a partir deste nível até ao fim do segmento, excepção feita ao registo correspondente aos 174m de profundidade.

Com a evolução da profundidade crescem também os caudais de perfuração (na ordem dos 80 l/s) iniciando-se o segmento com o acréscimo na ordem dos 10 l/s face ao segmento 1.

O acréscimo de caudal nos primeiros 70m do tramo é muito reduzido (3 l/s), reservando-se nos últimos 30m do tramo (150-180m de profundidade) o afluxo de grandes caudais à captação, atingindo no final do tramo 94 l/s. De mencionar que o acréscimo substancial dos caudais de perfuração encontra-se relacionado com a falha F1 definida na campanha de geofísica, coincidindo a perfuração da estrutura com o acréscimo de caudais de furação na ordem dos 49 l/s.

Pelo exposto, isolando os parâmetros temperatura e caudal de perfuração, é possível subdividir o tramo em dois segmentos, conferindo maior detalhe à análise. Dessa forma, aponta-se um sub-segmento decorrendo dos 60 aos 130 m de profundidade, onde afluem caudais já consideráveis (na ordem dos 15 a 18 l/s) com temperatura elevada (a rondar os 70 ºC), e um outro, mais profundo, abrangendo a falha F1, onde afluem caudais considerados excepcionais (máximo de 94 l/s) a 74 ºC de temperatura, compondo o tramo da captação onde é atingido o auge do conjunto formado pelos parâmetros caudal de perfuração e temperatura.

Segmento 4 (188 a 208 metros de profundidade)

É o segmento mais profundo da captação. A caracterização através dos parâmetros medidos traduzem águas do "tipo Chaves", como as mencionadas para o segmento 3, no entanto, neste segmento mais profundo verifica-se maior constância nos valores dos parâmetros medidos, realçando-se ainda uma ligeira descida do pH, condutividade e temperatura face ao segmento 3.

Durante qualquer extracção de caudais, seja durante a fase de perfuração ou durante o período de exploração de uma captação, o registo de variações reduzidas nos parâmetros físico-químicos da água extraída é normalmente tomado como um índice positivo, traduzindo o facto de que o aquífero encontrar-se-á a responder de forma constante às solicitações impostas pela extracção, ou seja, o aquífero estará em equilíbrio. Porém, não é possível afirmar que o aquífero encontrar-se-á em equilíbrio durante a perfuração do tramo, relembre-se o facto de que a partir dos 186 m de profundidade a perfuração procedeu-se com recurso ao método rotary com circulação directa de água, sendo injectada água proveniente do rio. Dessa forma, a água que constitui o fluido de circulação, a partir do qual se medem os parâmetros de perfuração, constituirá uma mistura de águas afluentes à captação com água do rio injectada à superfície, o que proporcionará o decréscimo dos valores registados para os parâmetros físico-químicos (a água do rio possui pH, temperatura e condutividade muito inferiores relativamente ás águas afluentes á captação nesta fase da perfuração) e constância nos valores medidos, visto que a porção de água proveniente de possíveis níveis circulados atravessados pela sondagem neste segmento será condicionada pela pressão oposta da coluna de água injectada.

Relativamente aos caudais que afluem à boca da sondagem, é denotada uma ligeira diminuição dos mesmos face ao segmento anterior (de 94 para 87 l/s). Pressupõe-se que o facto resultará da limitação do equipamento responsável pela injecção e elevação do fluido de circulação e não da diminuição da potencial cedência de água dos níveis aquíferos à captação.

c) Velocidade de perfuração

Numa análise geral destaca-se claramente a diferença de velocidade de perfuração antes e após os 186m de profundidade, reflectindo a substituição do método de perfuração a martelo de fundo de furo pelo método rotary, que perante a consistência e dureza das formações atravessadas preconiza menor velocidade de avanço.

Observando-se o avanço da perfuração mais pormenorizadamente é possível subdividir a sondagem em quatro segmentos, retractando a nítida diferença de velocidade de avanço diária (quadro 16).

A identificação de níveis comportando diferente coerência (quadro 16) é corroborada por alguns aspectos que pressupõe correlações a apontar, mencionando-se:

Segmento 1 (0-48 metros de profundidade)

Desenvolve-se ao longo de formações de menor coerência, sendo a velocidade de perfuração média de 16 m/dia, valor algo reduzido, possivelmente resultado do avanço menos rentável do método a martelo de fundo de furo em formações algo incoerentes.

Destaca-se aqui ainda o avanço reduzido nos dias 9 e 13, que não advirá de dificuldades de perfuração impostas pela litologia mas sim de particularidades inerentes à própria construção da captação. Recorde-se que no início dos trabalhos de perfuração exige-se cuidados redobrados, possíveis desvios de perfuração ou instabilidades provocadas nas paredes do furo nos primeiros metros da perfuração poderão incutir desvios exagerados à sondagem como um todo e o agravamento de instabilidades no decurso de toda a perfuração, esta situação agrava-se quando o nível freático encontra-se próximo da superfície, como é o caso (1,3m), podendo numa situação limite provocar o desnivelamento da sonda ou mesmo o colapso das paredes da sondagem. Posto isto, depreende-se que o facto de se realizar apenas 13m no dia 9 resultará dos cuidados e trabalhos acessórios inerentes ao emboquilhamento da sondagem.

No dia 13, o facto de se ter perfurado apenas 6m resultará muito provavelmente da instalação da coluna de revestimento em aço maciço, que inicialmente foi colocado até aos 48m de profundidade, sendo os trabalhos de perfuração suspensos simplesmente para proceder aos trabalhos de instalação da coluna de revestimento preliminar e não devido a dificuldades de perfuração resultantes de condicionantes litológicas.

Segmento 2 (48-152 metros de profundidade)

É o segmento onde se verifica a maior velocidade de perfuração. Tal ocorre devido à coerência da litologia aqui presente, que se adequa na perfeição ao método de perfuração utilizado.

No dia 22 verifica-se apenas a realização de 6m de sondagem. Uma vez que não se apontam condicionantes geológicas que apontem dificuldades de perfuração, indicam-se factores alheios à litologia como motivo para o reduzido avanço (possível avaria do equipamento ou realização de outros trabalhos que não os de perfuração).

Segmento 3 (152-186 metros de profundidade)

Embora perante formações coerentes, a elevada dureza (condiciona o avanço) e a presença de caudais de furação significativos (condicionam a frequência da percussão) ocasionaram neste segmento menor velocidade de perfuração face ao anterior.

A menor velocidade de avanço verifica-se no dia 24, muito provavelmente devido à intercepção, aos 152m de profundidade, com uma falha de dimensão considerável que corresponderá à designada falha F1. Recorde-se o facto das condicionantes impostas por este tipo de estruturas ao método de perfuração utilizado, uma vez que proporcionam a perda de parte do fluido de perfuração e consequentemente dificuldades na limpeza dos cuttings, condicionando a velocidade de perfuração e incutindo avanços mais cautelosos face à maior probabilidade de prisão das ferramentas.

Segmento 4 (186-208 metros de profundidade)

A nível de coerência e dureza das formações atravessadas, este tramo será muito semelhantes ao segmento 3, explicando-se a grande discrepância de valores na velocidade de avanço ao método de perfuração utilizado - rotary, o qual, face às características mencionadas para as formações

atravessadas, implica velocidade de perfuração consideravelmente reduzida. Recorde-se que a técnica de perfuração promove a desagregação dos materiais geológicos apenas com recurso à força de avanço e rotação múltipla, incutindo avanços reduzidos perante formações de elevada dureza.

Quadro 16. Compilação dos parâmetros de perfuração medidos em CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014); Ilações resultantes da análise dos parâmetros de perfuração medidos em CC3.

Controlo hidrogeológico de CC3

Data	Hora	Profundidade (m)	Parâmetros físico-químicos: pH	Temperatura (ºC)	Condutividade (µS/cm)	Parâmetros hidrodinâmicos: Níveis aquíferos atravessados (m)	Caudal acumulado (L/s)	Caudal por nível circulado (L/s)	NHE (m)	Velocidade de perfuração: Segmento perfurado num dia (m)	Metros perfurados por dia
09-01-2014	7:40	1,3	8,9	19,2	378,5					0-13	13
	11:00	2,3	8,7	18,2	364						
	16:00	2,7	8,2	46	365				1,3		
10-01-2014	7:30	13	8,7	18,7	364				2,23	13-42	29
13-01-2014	7:45	42	8,2	46	2547	38	5,5	5,5	3,05	42-48	6
17-01-2014	7:30	48	8,2	46	2547					48-102	54
	0:00	60		69		60	15	9,5			
22-01-2014	7:30	102	7,8	70	2936					102-108	6
23-01-2014	7:35	108	7,8	70	2936					108-152	44
	15:00	120	7,9	70	2960						
	19:00	150		70	2926	130	18	3			
24-01-2014	7:35	152	7,9	71	2946	152	67	49		152-165	13
	19:15	165		74	2900						
28-01-2014	0:00	165	7,7	71	3007					164-186	22
	0:00	178		74	2900	174	80	13			
29-01-2014	0:00	186	7,8	74	3010	180	94	14		186-188	2
31-01-2014	0:00	188	7,5	70	2836					188-192	4
04-02-2014	0:00	192	7,5	70	2863				3,82	192-203	11
05-02-2014	0:00	203	7,6	70	2860		87	-7		203-208	5
06-02-2014	0:00	208	7,5	70	2853						

Método de perfuração: Martelo fundo furo - 0 aos 186 m de profundidade
Rotary com circulação directa a água - 186 aos 208 m de profundidade

Notas:

O afluxo de água para a captação até aos 38 m de profundidade é demasiado reduzido para possibilitar medições de caudal minimamente precisas, pelo que não se justificou a sua medição.

Os parâmetros de perfuração disponibilizados não apresentam dados de velocidade de perfuração. O número de metros perfurados por dia foram estimados com base na diferença de profundidades atingidas entre hora de inicio dos trabalhos de perfuração entre dois turnos diários consecutivos.

Apartir do dia 28-01-2014 não são disponibilizadas as horas de medição dos parâmetros de perfuração.

Ilações resultantes da análise dos parâmetros de controlo hidrogeológico medidos em CC3

Identificação de segmentos de CC3 com águas de diferente proveniência e diferente grandeza de caudais (com base nos parâmetros físico-químicos e hidrodinâmicos): Segmento	Profundidade (m)	pH	Temperatura (ºC)	Condutividade (µS/cm)	Caudais de perfuração (L/s)
1	0 - 13	8,7 a 8,9	18,2 a 19,2	364 a 378,5	Insignificantes
2	42-48	8,2	46	2547	5,5
3	60 - 152	7,7 a 7,9	69 a 70	2900 a 3010	15 - 18
	152 - 186		71 a 74		67 - 94
4	188 - 208	7,5 a 7,6	70	2836 a 2853	87

Identificação de níveis com diferente coerência (com base na velocidade de perfuração): Segmento	Profundidade (m)	Perfuração média por dia (m)	Coerência das formações
1	0 - 48	16	Algo coerente
2	48 - 152	34,7	Coerente
3	152 - 186	17,5	Coerente e com elevada dureza
4	186 - 208	5,5	Coerente e com elevada dureza

Observações relativas à identificação de águas de diferente proveniência:

No segmento 4, a diminuição dos valores de pH, temperatura e condutividade será resultado da injecção de água na captação pelo método de perfuração usado - Rotary com circulação directa de água;

Para a definição do tramo 1 foi descartado o nível atravessado aos 2,7 m de profundidade por se tratar de uma situação pontual sem grande significância a nível quantitativo ou qualitativo. Apesar deste nível apresentar temperatura elevada (46 ºC), a condutividade não enquadra minimamente na água no "tipo Chaves", embora se reconheça que a temperatura elevada provevelmente se deva a águas desse tipo.

Evolução em profundidade dos parâmetros de controlo hidrogeológico medidos em CC3

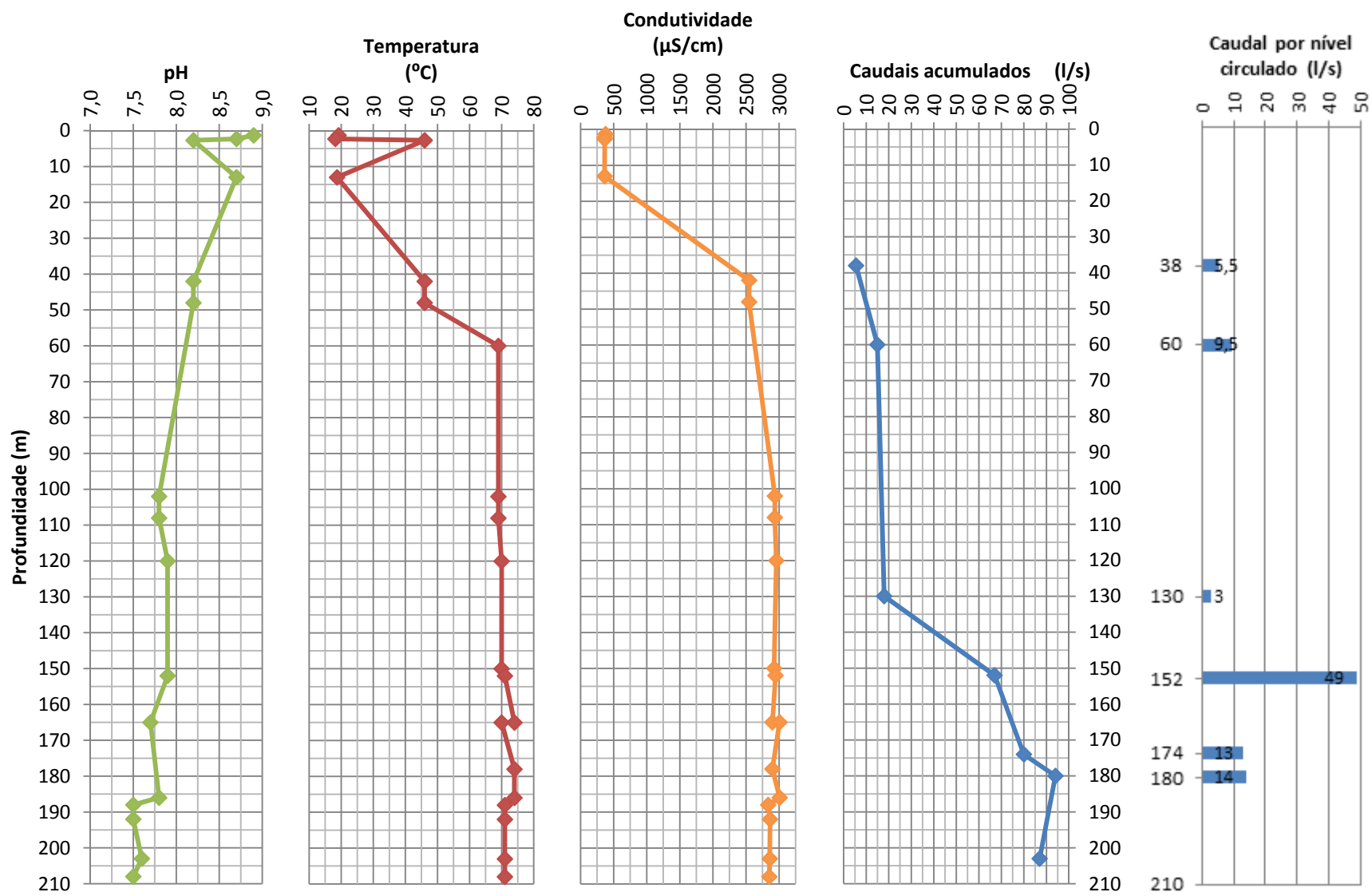


Figura 44. Representação da evolução em profundidade dos parâmetros de perfuração medidos em CC3.

d) Influências da perfuração de CC3 sobre as captações existentes

A análise do quadro 17 e dos respectivos gráficos (figura 45) não evidencia, em grande parte das observações efectuadas, variações relevantes impostas pelos trabalhos de perfuração de CC3 aos parâmetros físico-químicos das águas afluentes às restantes captações e emergências observadas, sendo os parâmetros aí medidos relativamente constantes ao longo do tempo de realização da perfuração.

Em AC2 identifica-se variação dos valores de condutividade durante o decurso dos trabalhos, porém, o gráfico de condutividades (figura 45) não apresenta para AC2, até ao registo de medição 26, variações coincidentes com a intercepção de níveis circulados pela sondagem CC3, pelo que não se prevê que as oscilações observadas em AC2 advenham de interferências induzidas pelos trabalhos de perfuração de CC3.

No registo de medição 28 a situação altera-se, ocorrendo em AC2 variações de condutividade (aumenta cerca de 200 µS/cm) e temperatura (diminui 7 °C) quase coincidentemente com o momento de intercepção de CC3 com o nível circulado correspondente à falha F1 (152m) que, com afluxo de caudais na ordem dos 49 l/s, compreende o mais importante nível circulado atravessado por CC3. A partir do registo 28 os parâmetros mantem-se constantes, verificando-se posteriormente a recuperação da temperatura para os normais valores no registo 35, altura em que o método de perfuração a martelo-fundo-furo é substituído pelo método rotary, terminando o sobre-rebaixamento e sobre-extracção impostos pela perfuração.

Embora as oscilações verificadas sejam também coincidentes com um ligeiro aumento da extracção em AC2 (de 4,8 para 5 l/s), não se indica este fenómeno como motivo do enunciado pois a captação encontra-se em exploração há décadas e não são mencionadas influências causadas pelos caudais de exploração estipulados nas condições físico-químicas da água extraída. Dessa forma, e pela coincidência entre o período decorrente após CC3 interceptar F1 em regime de sobre-exploração (causado pelo método de perfuração) com as oscilações verificadas, entende-se que as variações registadas em AC2 serão ocasionadas pelos trabalhos de perfuração.

A diminuição da temperatura verificada neste período de tempo (registos 28 a 34) indicia o acesso e disseminação de águas menos quentes em F1. Tal facto poderá ter duas origens: (i) circulação descendente até F1 de águas mais superficiais, com temperatura inferior; ou (ii) afluxo a F1 de água mineral aprisionada no maciço ou com circulação mais lenta (perda de gradiente devido lenta circulação) que a água aí em ascensão.

A hipótese de acesso de águas subsuperficiais não será provável. Durante a perfuração com martelo de fundo de furo, aos caudais máximos de perfuração (após CC3 interceptar F1) foram registadas influências de apenas cerca de 1m nos NHD's de captações AC1 e AC2 (fonte: Pedido de autorização da coluna definitiva ao LNEG), o que constitui um rebaixamento adicional muito reduzido para proporcionar o afluxo de águas subsuperficiais á profundidade de F1. Além disso, o acréscimo da condutividade observado em AC2 neste período contrapõe a hipótese, pois as águas circulantes a menor profundidade apresentam condutividade mais reduzida devido ao menor valor de mineralização (observar a condutividade dos níveis com temperatura inferior atravessados por CC3 – até 48m de profundidade), logo, em caso de acesso de águas subsuperficiais a estes níveis profundos teria de se verificar em AC2 decréscimo nos registos de condutividade, não o acréscimo verificado.

Posto isto, tudo aponta para a conceptualização que indica a possibilidade do decréscimo de temperatura resultar do acesso à falha F1 de água mineral com reduzida velocidade de circulação em estruturas a ela conectadas que, face ao desequilíbrio hidráulico imposto às principais estruturas responsáveis pela ascensão de água mineral (F1 e fracturas próximas a ela) pelo sobre rebaixamento resultante da perfuração a martelo-fundo-furo, levou ao afluxo acrescido de água mineral de circulação normalmente mais lenta e mais fria para F1. Água que em estado de

equilíbrio não aflui (ou aflui muito lentamente) para F1 devido à elevada coluna de água e elevados caudais aí circulantes, que em conjunto dificultarão o acesso dessa água menos quente a F1.

Ou seja, essa água menos quente e de circulação mais lenta (relativamente à circulante em F1) afluirá para F1 devido aos rebaixamentos excessivos provocados pela perfuração, que diminuíram a coluna de água e aumentaram o afluxo de caudais em circulação por F1. Ora, uma vez que em estado de equilíbrio a coluna de água e o fluxo natural em F1 condicionarão o afluxo da água com menor velocidade de circulação a essa estrutura, sendo que estes foram perturbados pela sobre-extracção imposta pela perfuração, resultando num grande desequilíbrio hidrodinâmico, reuniram-se as condições para que a água menos quente de circulação mais lenta afluísse rapidamente para F1 por forma a contrariar o desequilíbrio hidráulico imposto pela perfuração.

A partir do registo de medição 35 (presume-se que) foi injectada água fria em CC3 no âmbito da perfuração à rotary, o qual não inferiu alterações aos parâmetros medidos nas captações AC1 e AC2. Uma vez que durante o período correspondente à injecção de água fria (cerca de 18 °C) as temperaturas registadas em AC1 e AC2 apresentam valores enquadrados no normal regime de exploração e em CC3 a temperatura do fluido de circulação ascende á cabeça da sondagem apenas cerca de 3 °C inferior à temperatura registada no fluido de circulação aquando à perfuração por martelo-fundo-furo, depreende-se que o potencial hidráulico da água circulante em F1 será próximo ou superior à coluna de água de injecção (aproximadamente 15 bar, visto que F1 foi interceptada em CC3 a cerca de 152m de profundidade), impedindo, à escala da distancia de CC3 a AC2 e AC1, o afluxo e disseminação da água injectada à rotary para as principais estruturas geológicas circuladas.

Enquadrando os dados analisados na zona de descarga, com principal incidência no facto de durante a perfuração com martelo-fundo-furo, aos caudais máximos de perfuração (após interceptar F1) terem sido registadas influências (reversíveis) nas captações AC1 e AC2 (de cerca de 1m) e também nas escavações das Termas Romanas (Pedido de autorização da coluna definitiva ao LNEG), aponta-se a falha inversa F1 como “estrutura mãe” de condução de água do tipo chaves à zona de descarga.

Quadro 17. Compilação dos parâmetros de controlo hidrogeológico durante a perfuração de CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014).

Controlo hidrogeológico da perfuração de CC3

Data	Hora	Registo de medição	Sondagem CC3						AC1		AC2				Termas Romanas	Rio	
			pH	Temp. (ºC)	Condut. (µS/cm)	Níveis aquíferos (m)	Caudal (L/s)	Profund. (m)	Temp. (ºC)	Caudal (m^3/h)	pH	Temp. (ºC)	Condut. (µS/cm)	Caudal (m^3/h)	pH	pH	Temp. (ºC)
09-01-2014	7:40	1	8,9	19,2	378,5			**1,3**									
	8:30	2							69,5	22,6		77,2	3112	4,7	2,3	2,8	17,2
	11:00	3	8,7	18,2	364			**2,3**									
	16:00	4	8,2	46	365			**2,7**									
10-01-2014	7:30	5	8,7	18,7	364			**13**	69,3	23,2		77,1	3111	4,7	2,3	2,8	17,8
11-01-2014																	
12-01-2014																	
13-01-2014	7:45	6	8,2	46	2547	38	5,5	**42**									
	12:30	7							69,6	22,5	7,5	77,2	3958	4,7	2,4		18
	19:30	8							69,7	22,5	7,5	77,2	3101	4,7	2,4	3	18,3
14-01-2014	07:30	9							69,3	22,6		77,2	2873	4,7	2,4	3	18
15-01-2014	07:30	10							69,5	22,5		77,2	2917	4,7	2,4	3	19
	18:00	11										77,1	2828	4,7			
16-01-2014	07:30	12							70,1	22,6		76,4	2830	4,8	2,4		
	18:00	13							70,2	22,7		76,4	2830	4,8	2,4		
17-01-2014	7:30	14	8,2	46	2547			**48**	70	22,6	7,5	77,2	2830	4,8			
	9:00	15		69			15	**60**									
18-01-2014																	
19-01-2014																	
20-01-2014	07:30	16							69,9	22,6		77,1	2640	4,7			
	19:00	17							69,8	22,6		77,2	2640	4,7			
21-01-2014	07:30	18							69,9	22,6		77,2	2641	4,7			
	19:00	19							69,3	22,6		77,2	2631	4,7			
22-01-2014	7:30	20	7,8	69	2936			**102**	69,3	22,6		77,3	2631	4,7			
	19:00	21							69,9	22,6		77,2	2630	4,7			
23-01-2014	7:35	22	7,8	69	2936			**108**	69,9	22,6		77,3	2630	4,8		2,9	
	15:00	23	7,9	70	2960			**120**									
	19:00	24		70	2926	130	18	**150**	69,8	22,6		77,3	2610	4,6			
24-01-2014	7:35	25	7,9	71	2946			**152**	69,7	22,6		77,2	2641	4,6		2,9	
	19:15	26		74	2900	152	67	**165**	69,7	22,6		77,2	2641	4,8			
25-01-2014																	
26-01-2014																	
27-01-2014	10:30	27							69,7	22,8				5,1		3	
28-01-2014	07:30	28	7,7	70	3007			**165**	69,7	22,8		70,8	2817	5			
	10:30	29														3	
	19:00	30		74	2900	174	80	**178**									
29-01-2014	13:00	31														3	
	19:00	32	7,8	74	3010	180	94	**186**	69,8	22,5		70,1	2820	5			
30-01-2014	07:30	33														3,8	
	11:30	34							70,6	22,4		70	2816	5			
31-01-2014	07:30	35	7,5	71	2836			**188**	70,3	22,6		77	2816	3		3,9	
01-02-2014																	
02-02-2014																	
03-02-2014																	
04-02-2014	7:30	36	7,5	71	2863			**192**									
05-02-2014	7:30	37	7,6	71	2860		87	**203**									
06-02-2014	7:30	38	7,5	71	2853			**208**									

Notas: Durante a perfuração com martelo de fundo de furo, aos caudais máximos de perfuração foram registadas influências (reversíveis) de cerca de 1m nas captações AC1 e AC2, o que não impediu que elas continuassem a funcionar para o aproveitamento geotérmico existente. Foram também registadas influências nas escavações das Termas Romanas, no centro da cidade de Chaves.

Legenda: Dias sem realização de trabalhos.

Observações: pH registado nas Termas e Rio algo suspeito devido ao valor reduzido.

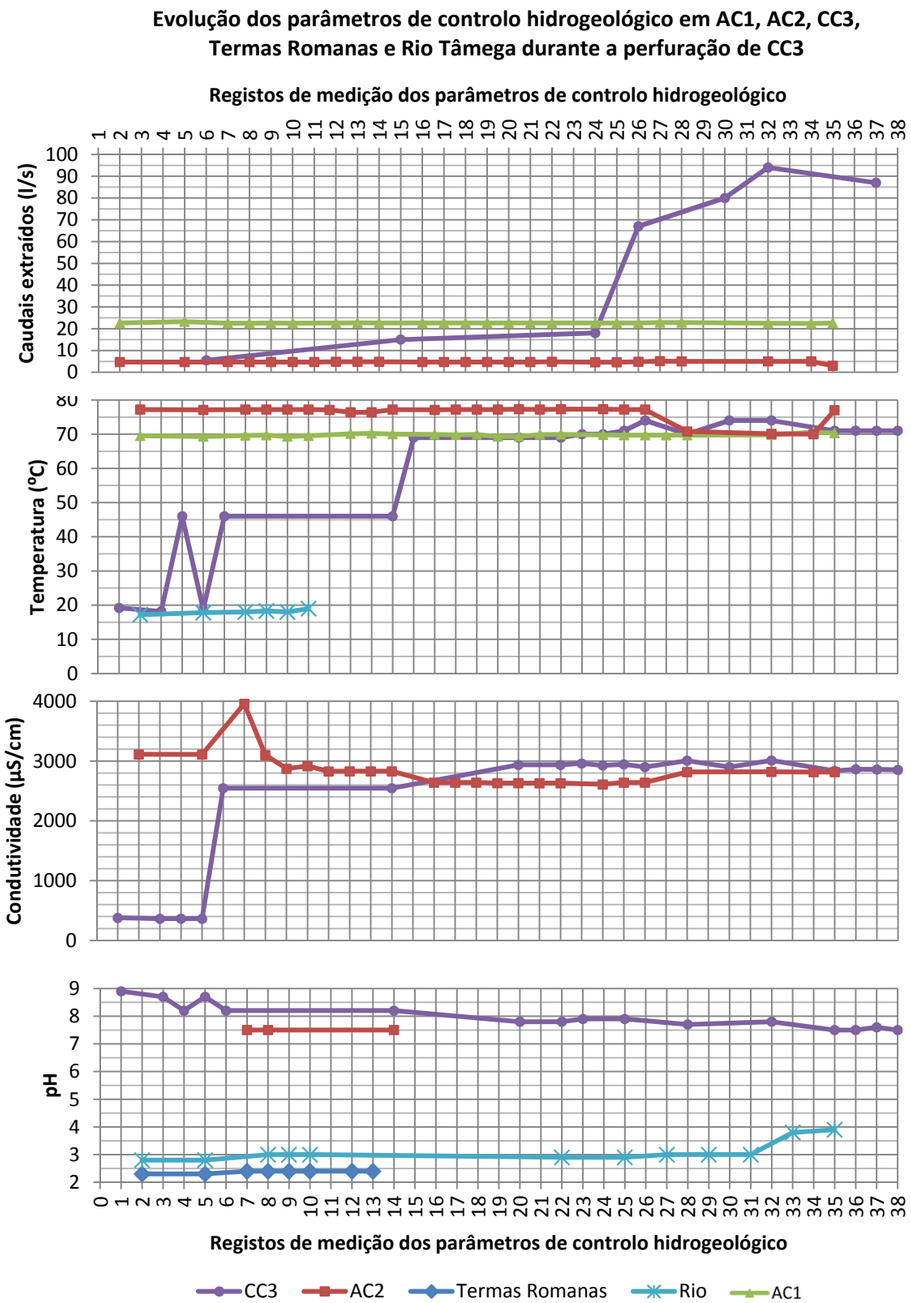


Figura 45. Evolução dos parâmetros de controlo hidrogeológico medidos em AC1, AC2, Termas Romanas e Rio Tâmega no decorrer da perfuração de CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014).

12.3. Reconstituição do log da sondagem

A reconstituição do log de sondagem pressupõe o estudo e localização em profundidade das litologias atravessadas a partir da respectiva amostragem.

Com base nos cuttings da sondagem CC3 procedeu-se à reconstituição do respectivo log. A reconstituição teve por base a observação dos cuttings á vista desarmada, para interpretação geral dos materiais atravessados, e a observação à lupa, para uma análise mais detalhada com vista a deslindar questões resultantes da análise global e obter uma definição mais detalhada (quadros 1 e 2 - anexo IX).

Além da análise visual realizou-se também uma análise química (quadro 3 - anexo IX). Esta não contemplou alguns dos elementos químicos inerentes às litologias atravessadas (por limitações do equipamento utilizado) e o número de amostras analisadas não possibilita tratamento estatístico, pelo que não permite afirmar incontestavelmente a sua representatividade nem tão pouco identificar indicadores geoquímicos passiveis de relacionar com possíveis litologias atravessadas. Contudo, apesar de todas as limitações mencionadas, os resultados da análise química realizada constituem dados importantes, não para identificação das litologias atravessadas mas para, através do contraste de valores entre diferentes cuttings, averiguar o acerto da localização em profundidade das interfaces litológicas definidas na análise visual.

Expondo-se os resultados das análises realizadas através do quadro 18, que constitui um resumo geral das litologias atravessadas, identificam-se quatro litologias gerais dispostas em profundidade segundo a ordem: Aluviões, filitos, quartzo-filitos e granitos (para melhor percepção observar figura 53).

Aluviões

As aluviões desenvolvem-se desde a superfície até aos 12m de profundidade, verificando-se presença de terra vegetal nos primeiros 4,5m.

Filitos

Entre os 12 e os 150m de profundidade apontam-se (genericamente) filitos, litologia subdividida em 6 horizontes de acordo com particularidades relacionadas com o seu grau de decomposição, fracturação e presença de diferentes materiais geológicos.

Dos 12 aos 26m de profundidade surgem filitos decompostos. Este horizonte apresenta já pequenos fragmentos rochosos e tonalidade acinzentada, em consonância com a e coloração dos filitos sãos e pouco alterados identificados nos horizontes subsequentes.

Os cuttings provenientes do horizonte definido para a profundidade 26-42 m mostram mistura de diferentes materiais geológicos, compreendendo filitos, granitos e quartzo, este último com presença reduzida face aos dois primeiros. Analisando o aspecto do cutting, a evolução da reconstituição do log e a geologia regional, aponta-se a este horizonte a presença de um corpo geológico muito fracturado constituído por filitos alterados incorporando apófises graníticas e filonetes de quartzo. De realçar a presença de materiais finos bastante adesivos aos fragmentos dos cuttings que constituem este horizonte, indiciando a presença de água durante a progressão da perfuração.

Subsequentemente, a sondagem atravessa um filão de quartzo por uma extensão considerável, correspondendo a 6m de sondagem inscritos à profundidade 42-48m. Esta estrutura, que serve de interface entre os corpos de filitos mais alterados e fracturados a montante e os corpos de filitos menos alterados e mais compactos a jusante, apresentar-se-á consideravelmente

fracturada (tendo em conta a dimensão dos fragmentos do cutting) e constituirá uma armadilha hidrogeológica com considerável circulação de água (de acordo com a ausência de finos no cutting – aspecto lavado).

A jusante do filão, desde os 48 até aos 132m de profundidade, a sondagem atravessou filitos caracterizados segundo a sua variação entre alterados, pouco alterados a sãos e sãos (segundo os respectivos horizontes demarcados na tabela síntese) de acordo com a sua tonalidade, sendo estes, pela dimensão e aspecto dos grãos constituintes dos diversos cuttings, considerados relativamente compactos.

O horizonte mais profundo enquadrado na litologia filitos inscreve-se na extensão 132-150 m. Este segmento abarca a presença de fragmentos de quartzo, provavelmente incorporado nos filitos sob a forma de filonetes. A maior incidência de fragmentos de quartzo ocorre no tramo 132-138m, mas, até aos 150m, são visíveis vários fragmentos de quartzo, muitos deles com aspecto achatado e bandado, indiciando tensões compressivas consideráveis.

Filitos quartzíticos

Sob o corpo filítico, entre os 150 e os 192m, a sondagem atravessou materiais com elevada percentagem de quartzo na sua constituição – quartzo filitos, sendo o nível correspondente à litologia filitos quartzíticos a interface em profundidade entre aqueles materiais geológicos mencionados, incorporando características de ambas as formações.

O cutting referente á profundidade 150-156m constitui-se pelos denominados filitos quartzítico. Estes, muito diferentes dos filitos apontados anteriormente, constituem-se na sua totalidade por fragmentos de geometria achatada compostos por camadas de quartzo e micas sobrepostas quase geometricamente, sendo as camadas de quartzo bastante mais espessas e bem visíveis a olho nu. A constituição e geometria destes materiais indicia tratar-se de uma zona sujeita a elevada compressão, compreendendo o segmento da sondagem onde os materiais terão sido sujeitos a maiores tensões compressivas, o que leva a crer a sua correspondência com a falha inversa F1 definida pela campanha de reflexão sísmica.

Pela regular maior dimensão (face aos cuttings envolventes) das partículas constituintes do cutting, aponta-se elevada fracturação aos materiais representados.

Quartzo-filitos

Entre os 156-192m de profundidade dispõe-se quartzo-filitos, materiais constituídos essencialmente por quartzo e micas, mas muito diferentes dos filitos-quartzíticos, que se constituem por camadas sobrepostas quase geometricamente.

À profundidade 156-168m, os materiais constituem-se essencialmente por quartzo e menor número de micas, surgindo estas encravadas quase aleatoriamente no material quartzoso. De destacar ainda a presença de pirite agregada à superfície de partículas constituídas por quartzo de tonalidade acinzentada, indicando filonetes de quartzo com possível circulação de geo-fluidos.

Entre os 168-192m de profundidade, a sondagem progride originando cuttings de perfuração com fragmentos de menor dimensão face aos horizontes a montante, remetendo para materiais de maior coesão (embora, a partir dos 186m, a menor granulometria se deva em parte à introdução do método de perfuração rotary).

O horizonte é constituído essencialmente por material quartzoso, e o teor em quartzo aumenta à medida que se avança em profundidade, estando também presentes alguns, mas poucos, filitos, constituindo uma mistura de materiais.

Ao contrário dos fragmentos presentes na litologia filitos, os aqui presentes expõem elevada percentagem de micas dispostas em camadas quase sobrepostas. Já os fragmentos quartzosos possuem aspecto algo semelhantes aos filitos quartzíticos identificados no segmento 150-156m, mas com dimensão muito mais reduzida e com muito maior porção de quartzo na sua composição (a camada de micas é finíssima face à espessura da camada de quartzo). Muitos destes fragmentos são constituídos quase na sua totalidade por quartzo com formato tabular e bandado (indicio de compressão elevada) e geometria achatada e regular.

A evolução em profundidade da (elevada) presença de quartzo e das tensões de compressão, em associação com a indicação de granitos (a seguir analisados) localizados subsequentemente a estes materiais, levam a crer que os materiais geológicos presentes no segmento 168-192m constituam a auréola de metamorfismo de contacto que realiza a interface entre o corpo magmático, apontado a jusante, e o corpo metamórfico constituído por filitos, localizado a montante.

Granitos

A partir dos 192 m de profundidade surgem materiais com aspecto nitidamente contrastantes com os interceptados a montante. Contrariamente à geometria mais ou menos achatada que caracteriza os cuttings representativos das litologias anteriormente descritas, neste horizonte, os respectivos cuttings apresentam fragmentos com geometria “cúbica”.

O segmento 192-198m, pela granulometria e materiais constituintes do cutting, corresponderá à transição entre a litologia quartzo-filitos e supostos granitos pelíticos, que desde os 198m até á base da sondagem apresentam fragmentos de dimensão muito reduzida e matriz mineralógica muito fina.

Perante os minerais presentes, o aspecto dos fragmentos do cutting, o enquadramento geológico regional e o lento avanço de perfuração, apontam-se granitos pelíticos compactos para a litologia do tramo da sondagem em estudo. Contudo, esta dedução deve ser considerada com alguma renitência, pois a natureza do cutting consequencia difícil análise. O diminuto número de “fragmentos” rochosos no cutting e a sua reduzida dimensão constituem obstáculos à respectiva análise, mesmo com recurso à lupa.

Quadro 18. Reconstituição do log da sondagem – tabela síntese.

Reconstituição do log da sondagem - Tabela síntese

Profundidade (m)		Análise física						Análise por fluorescência de Raio-X						Litologia	
		Tipologia do cutting	Granulometria					Elementos químicos c/ presença considerável							
Sondagem	Real (aproximada)		MG	G	M	F	MF	Fe	Ca	K	Al	Si	S	Evolução em profundidade	Geral
0-4,5	0-4,5	Grãos desagregados				X		3,6	0,2	2,6	8,8	22,4	0,0	Aluviões (c/ presença de terra vegetal)	Aluviões
4,5-12	4,5-12					X		2,7	0,3	2,6	7,3	25,4	0,0	Aluviões	
12-21	12-21					X		2,9	0,2	2,8	9,5	24,2	0,0	Filitos decompostos (solo residual algo arenoso)	Filitos decompostos
21-22	21-22						X	3,2	0,1	2,3	8,0	25,8	0,0	Lenticula silto-argilosa	
22-26	22-26					X		5,0	0,1	2,5	10,4	22,4	0,0	Filitos decompostos (solo residual algo arenoso)	
26-42	26-42	Rocha fragmentada	X					4,0	0,3	2,0	11,0	19,5	0,1	Filitos alterados c/ apófises graníticas. Materiais muito fracturados	Filitos alterados c/ apófises graníticas. Materiais muito fracturados.
42-48	42-48		X					8,7	0,2	1,5	9,1	16,6	5,7	Filão de quartzo (c/ presença de pirite)	Filão de quartzo
48-66	48-66				X			4,3	0,2	1,1	7,6	17,8	0,2	Filitos sãos	Filitos sãos a pouco alterados
66-72	66-72				X			11,0	0,8	1,1	9,0	19,6	1,4	Filitos sãos a pouco alterados	
72-80	72-80				X			8,9	0,5	1,3	10,0	21,5	1,1	Filitos alterados	
80-132	80-128			X	X			8,0	0,4	1,2	8,5	21,7	0,6	Filitos sãos a pouco alterados	
132-150	128-145			X				9,7	0,7	1,3	8,1	23,0	1,4	Filitos sãos a pouco alterados c/ intercalações de quartzo	Filitos sãos a pouco alterado c/ intercalações de quartzo
150-156	145-150,5			X				4,0	0,5	2,0	6,5	31,3	0,9	Filitos quartziticos	Filitos quartziticos
156-168	150,5-161,5				X			14,3	0,5	2,2	8,1	25,1	12,0	Quartzo-filitos C/ considerável presença de pirite	Quartzo-filito
168-192	161,5-181,5					X		3,9	0,3	1,4	4,3	31,8	3,2	Quartzo-filitos	
192-207	181,5-194					X	X	3,8	0,2	1,7	4,3	29,7	0,6	Granitos apeliticos???	Granitos

Notas:

Os valores dos principais elementos presentes na análise química resultam da mediana dos resultados referentes ás respectivas litologias. Deve-se levar em conta limitado numero de dados, pelo que devem ser analisados com alguma reticência

12.4. Diagrafias

Embora por vezes subvalorizadas por alguns técnicos que trabalham em Hidrogeologia, as diagrafias constituem uma importante ferramenta de suporte na elaboração do projecto de uma captação, a partir das quais se obtém informação de relevo como a estimativa de parâmetros hidráulicos e físico-químicos dos aquíferos ou ainda a identificação de fracturas em rochas cristalinas, índices importantíssimos para a definição da coluna das captações (Ramalho et al., 2009).

A captação CC3 foi foco de aquisição de vários parâmetros, sendo para o presente dada relevância aos relacionados com a hidráulica subterrânea que permitam fornecer informações sobre a presença de águas com diferentes características físico-químicas e respectivos níveis de circulação. Os logs resultantes das diagrafias analisadas podem ser observados nos quadros 1 e 2 do anexo X.

12.4.1. Identificação de níveis circulados

Dada a importância da identificação de níveis circulados e de variações físico-químicas inerentes à água que aflui a CC3, de acordo com os resultados das diagrafias (anexo X), apresenta-se no quadro 19 e figura 53 a reunião e confronto entre a posição das zonas tectonizadas, níveis circulados e a evolução da condutividade e temperatura em profundidade. As fracturas e os níveis circulados foram identificados e localizados segundo os resultados das diagrafias sónicas e do ensaio de molinetes, respectivamente.

A observação da tabela permite identificar elevada presença de zonas fracturadas, correspondendo na sua totalidade a cerca de 10% da extensão da sondagem. A espessura predominante das zonas fracturadas incorpora 0,5 a 0,7 m, mas são presentes várias com mais de 1 m.

O afluxo de água à captação inscreve-se em sete níveis distintos correspondentes a zonas fracturadas singulares ou em conjunto, apontando-se:

Nível 1 (47,7-47,8 metros de profundidade)

Suspeita-se que o afluxo medido neste nível, entre os 47,7 e os 47,8m, tenha contributo de níveis circulados acima da base do tubo de revestimento (ainda não isolado com calda de cimento à data da realização das diagrafias). Atente-se aos factos de não existir qualquer fractura coincidente com o presente nível e de o segmento a ele correspondente inscrever-se imediatamente abaixo da instalação do tubo de revestimento (47,7m) apenas por uma extensão de 10 cm.

Conjuntamente, à profundidade onde se verifica o afluxo ocorre acréscimo da temperatura medida em regime estático e dinâmico, desenvolvendo-se um ligeiro pico de valores que corresponde á máxima temperatura registada em regime dinâmico ao longo de toda a sondagem.

A concordância entre os vários factos enunciados nível indica real afluxo de água à captação neste nível, e não falsos valores de afluxo por perturbações na sonda, apontando-se o filão de quartzo localizado quase imediatamente acima da base de instalação do tubo de revestimento como estrutura geológica responsável pelo afluxo verificado.

Nível 2 (52,2-68,8 metros de profundidade)

O nível 2 é o que mais se destaca, compreendendo cerca de 52 % do afluxo de água à captação.

Identificado pelos molinetes entre os 52,2 e os 68,8m, o referido nível desenvolve afluxo de caudais quase continuamente na sua extensão, circulando possivelmente no conjunto de fracturas definido entre os 51,7 e os 63m de profundidade. O segmento compreende três fracturas das mais pronunciadas entre as identificadas nas diagrafias, todas elas cortando a sondagem por mais de 1 m de extensão, e comporta a fractura mais espessa (2,3m) e mais solicitada no ensaio de molinetes, correspondendo singularmente a 42% do afluxo de água à captação.

Nível 3 (89-90,3 m), 4 (122,1-129,1 m) e 5 (160,8-161,7 m de profundidade)

Os níveis circulados 3, 4 e 5 apresentam a mesma percentagem de afluxo à captação. O facto remete para a forte probabilidade de ocorrer significativa intercomunicação entre os níveis, pois o nível 4 constitui-se por um grupo de fracturas que em conjunto perfazem 2,1m de espessura que, caso se tratassem de níveis não comunicados, conferir-lhe-ia maior coeficiente de armazenamento face aos níveis 3 e 5, os quais comtemplam apenas uma fractura com 0,6m de espessura, assim resultaria da sua descompressão maior afluxo à captação, ao invés da reacção equitativa (igual cedência de água à captação) verificada nos três níveis circulados.

Nível 6 (192,7-194,2 m de profundidade)

O nível 6 não evidencia claramente afluxo para a captação através do ensaio de molinetes. Porém, o incremento dos valores de temperatura verificados a essa profundidade relativamente ao nível 7, tanto em regime dinâmico como em regime estático, mantendo-se os valores constantes pelo menos até ao nível circulado imediatamente acima (nível 5), indiciam afluxo de água proveniente das fracturas correspondentes ao segmento 192,4-195,6 m.

Nível 7 (200,7-203,3 m de profundidade)

No nível 7, embora se verifique evidente afluxo de à captação (13%, segundo os ensaios de molinete) e inversão do gradiente geotérmico (0,5 °C), o que evidencia provável afluxo de água neste nível e com menor temperatura face aos níveis superiores, não se verifica qualquer fractura correspondente, o que é de estranhar, visto que estamos perante circulação em meio fissurado. Porém, é possível que tal ocorra devido à presença de micro-fracturação ou simplesmente fracturas de espessura inferior à capacidade de detecção dos meios utilizados. Repare-se que embora não seja apontada qualquer fractura correspondente ao nível indicado como circulado, o tempo de trânsito das ondas P e S sofrem um ligeiro aumento, indicando a presença de um meio menos compacto face ao envolvente, o que poderá indiciar fracturação.

Apesar do mencionado, e embora a temperatura e o afluxo medidos apontem tratar-se de um nível circulado, a inexistência de fracturação evidente não permite afirmar seguramente a suposta circulação, ficando presente a possibilidade de o acréscimo de afluxo verificado dever-se apenas a um possível distúrbio nos molinetes provocado pelo efeito da proximidade do fundo da captação, ainda que a variação da temperatura verificada contraponha esta possibilidade.

Quadro 19. Síntese da informação mais relevante adquirida através das diagrafias realizadas em CC3.

Síntese da informação mais relevante adquirida através das diagrafias realizadas em CC3

Descontinuidades				Afluxo de água á captação				Profundidade (m)	Condutividade				Temperatura						Segmento
Profundidade		Espessura da fractura (m)	Objecto	Profundidade		Afluxo de água á captação (%)	Nível circulado		Variações segundo a observação do log em sentido ascendente				Variações segundo a observação do log em sentido ascendente				Notas relevantes		
Tecto (m)	Base (m)			Tecto (m)	Base (m)				Log registado em regime dinâmico	Grafismo	Log registado em regime estático	Grafismo	Log registado em regime dinâmico	Grafismo	Log registado em regime estático	Grafismo	Observações	Evolução geotérmica	
0	47,7	-----	Tubo de revestimento					42,5-47,7	Valores relativamente constantes	|	Ligeiro acréscimo	+ +	Constante	|	Considerável acréscimo	+ + +	Temperatura medida em regime dinâmico superior á temperatura medida em regime estático	Invariável	1
				47,7	47,8	14	1	47,7-48	Ténue decréscimo abrupto	-	Ligeiro decréscimo pontual	- - •	Ténue acréscimo e desenvolvimento de pico pontual (maior valor registado)	+	Relativamente constante	|			
48,3	49	0,7	Fractura					48-49	Ténue acréscimo	+	Ligeiro acréscimo	+ +	Ténue decréscimo	-					
								49-51,5											
51,7	54	2,3	Fractura	52,2	53,6	42	2	51,5-52,5	Ligeiro acréscimo seguido de ligeiro decréscimo abrupto	+ +			Ligeiro acréscimo e posterior decréscimo repentino e acentuado (~0,5 ºC). Pequeno patamar bem demarcado (regista a 2ª temp. mais elevada)	+	Acréscimo repentino bem demarcado (~0,5 ºC) seguido de decréscimo repentino de igual grandeza. Desenvolvendo de um pequeno patamar pontual.	+ + + •	As temperaturas medidas em ambos os regimes igualam-se	Pico máximo	2
55,2	56,7	1,5	Fractura	53,6	62,8	10		52,5-120	Nada de relevante a apontar. Valores relativamente constantes, embora ocorra insignificante acréscimo de valores á medida que se avança descendentemente em profundidade	| -	Nada de relevante a apontar. Valores relativamente constantes, embora ocorra insignificante acréscimo de valores á medida que se avança descendentemente em profundidade	| +	Nada de relevante a apontar. Valores relativamente constantes, emboraocorra insignificante acréscimo da temperatura á medida que se avança em Profundidade.	|	Nada de relevante a apontar. Valores relativamente constantes, embora ocorra insignificante acréscimo da temperatura á medida que se avança em Profundidade.	|	Insignificante (quase imperceptivel) descida da temperatura em regime dinâmico face ao estático	Após interceptar o pico máximo, a temperatura decai repentinamente e inicia-se um aumento progressivo do gradiente á medida que se avança em profundidade	3
61,9	63	1,1	Fractura																
76,5	77	0,5	Fractura																
84	84,5	0,5	Fractura																
90,1	90,7	0,6	Fractura	89	90,3	7	3												
98,2	98,7	0,5	Fractura																
102	102,7	0,7	Fractura																
111,5	112	0,5	Fractura																
122,1	122,7	0,6	Fractura	122,1	129,1	7	4	120-130					Ligeiro acréscimo	+ +			Ligeira descida da temperatura em regime dinâmico face ao estático		
125,8	126,5	0,7	Fractura																
127,8	128,6	0,8	Fractura																
144,8	145,4	0,6	Fractura					130-150					Insignificante acréscimo	| +			Ténue descida da temperatura em regime dinâmico face ao estático		
146,8	147,2	0,4	Fractura																
150,1	151,9	1,8	Fractura																
162,1	162,7	0,6	Fractura	160,8	161,7	7	5	150-192,5					Valores relativamente constantes	|			Equivalência entre valores de temperatura medidos em regime estático e dinâmico	Invariavel	4
166,5	167,5	1	Fractura																
168,8	169,4	0,6	Fractura																
171,2	172	0,8	Fractura																
178,4	179,4	1	Fractura																
179,9	181,2	1,3	Fractura																
192,4	193,3	0,9	Fractura	192,7	194,2	*1	6	192,5-195	Insignificante decréscimo	| -	Ligeiro acréscimo	+ +	Ligeiro derésimo da temperatura	- -	Ligeiro derésimo da temperatura	- -		Inversão do gradiente geotérmico	5
194	195,6	1,6	Fractura																
								195-200					Relevante decréscimo da teperatura (~0,5 ºC)	- - -	Relevante decréscimo da teperatura (~0,5 ºC)	- - -			
				200,7	203,3	13	7	200-205					Segmento c/ a menor temperatura verificada.Valores relativamente constantes.	|	Constante. Segmento c/ a menor temperatura verificada.	|			

Legenda: *1 Perturbação no molinete e decréscimo da temperatura;
Fracturas provavelmente circuladas.

Notas: O ensaio de molinete realizou-se com extracção de 1,6 l/s captada a menos de 7m de profundidade medida a partir da boca da captação;
O caudal de bombagem aplicado no ensaio de molinetes foi insuficiente para solicitar os niveis circulados mais profundos.

Legenda:

|	Valores constantes
|-	Valores relativamente constantes com insignificante decréscimo
-	Ténue decréscimo
- -	Ligeiro decréscimo
- - -	Acentuado decréscimo
- - •	Ligeiro decréscimo pontual
+	Ténue acréscimo
+ +	Ligeiro acréscimo
+ + +	Acentuado acréscimo
+ + + •	Acentuado acréscimo pontual
#	Segmentos da sondagem com os valores de temperatura mais elevados
#	Segmentos da sondagem com os valores de temperatura mais reduzidos (abaixo do tubo de revestimento preliminar)

Apesar da informação adquirida pelo ensaio de molinetes revelar-se extremamente importante para definir níveis circulados e a respectiva contribuição para a captação, os resultados obtidos em CC3 devem ser interpretados com alguma ressalva. Os caudais de extracção utilizados no ensaio são muito reduzidos comparativamente aos caudais circulados (identificados durante a fase de perfuração) nos diferentes níveis, motivo pelo qual as percentagens de afluxo identificadas no ensaio muito provavelmente não corresponderão ao verdadeiro potencial contributivo dos diferentes níveis. Recorde-se que durante a perfuração, contrariamente ao verificado nos ensaios de molinete, os níveis circulados com maior afluxo surgem entre os 150-180m de profundidade, sendo o nível inscrito aos 152m (definido pelo controlo hidrogeológico), coincidente com a falha estipulada como a principal armadilha hidrogeológica atravessada, o mais produtivo (como se esperava), contribuindo singularmente com cerca de 49 l/s, superando os caudais conjuntos de todos os restantes níveis identificados na fase de perfuração. Ora, a esta profundidade (152 m) não é observado qualquer afluxo de água nos ensaios de molinete, o que evidencia a possibilidade de os níveis mais profundos com elevada circulação não serem devidamente solicitados devido ao reduzido caudal de extracção aplicado no ensaio de molinetes, pelo que o ensaio não traduzirá devidamente o contributo real dos diferentes níveis circulados.

Outra observação que remete para o mencionado prende-se à identificação de 48 % do afluxo à profundidade 52,2-53,6 m no ensaio de molinete, mais uma vez em completo desacordo com os menores caudais verificados nos parâmetros de perfuração a esta profundidade. Provavelmente, o elevado contributo verificado nos ensaios de molinete para este nível resultará da sua maior proximidade ao ponto de extracção (próximo à superfície) e á elevada espessura (2,3m) da fractura correspondente (possivelmente proporcionará menor perda de carga no afluxo à captação face a fracturas de menor espessura), provavelmente em contacto directo com a principal armadilha circulante (152m) ou a ela conectada através das fracturas verticais identificadas nos perfis geofísicos, o que permitirá à captação reagir ao pequeno desequilíbrio criado pelos reduzidos caudais de extracção essencialmente a partir deste nível, tendo em conta a intercomunicação entre armadilhas, menores perdas de carga (maior potencial) associadas ao nível 52,2-53,6 m e o facto da extracção realizada não solicitar devidamente os níveis circulados mais profundos.

Como mencionado, o facto de o nível 52,2-53,3 m reagir mais activamente á à extracção realizada durante o ensaio de molinetes poderá evidenciar maior potencial hidráulico deste nível, no entanto não se vislumbra tal situação na origem, pois estimasse que todas as armadilhas atravessadas sejam alimentadas por uma estrutura de circulação comum (falha F1), o que preconizará igual potencial hidráulico aos níveis circulados atravessados, mas deve-se ter em conta que diferentes fracturas poderão proporcionar diferentes perdas de carga, o que faz variar o potencial hidráulico. Seria interessante realizar ensaios de molinete em regime natural (sem bombagem) para averiguar a possível circulação vertical de água entre os níveis atravessados através da captação, resultando daí conclusões válidas quanto ao potencial hidráulico dos diferentes níveis.

12.4.2. Identificação dos níveis circulados com diferente proveniência

Concluída a discussão dos índices hidrogeológicos é imprescindível avançar para a abordagem dos parâmetros físico-químicos, índices indispensáveis à localização em profundidade de afluxo de águas de diferente tipologia.

Os parâmetros medidos neste âmbito pelas diagrafias diferidas (anexo X e figura 53) contemplaram a aquisição em profundidade de valores de temperatura e condutividade em regime estático e dinâmico.

Sob o ponto de vista geral, exceptuando níveis pontuais ou pequenos segmentos onde se verificam singularidades heterogéneas, os valores dos parâmetros medidos abaixo da base de instalação do tubo de revestimento preliminar pautam pela relativa constância.

A condutividade (corrigida para 25 °C) apresenta valores na ordem dos 2,93 e 2,98, respectivamente para a medição realizada em regime dinâmico e estático.

Quanto à temperatura, em regime estático, identifica-se 74,5 °C praticamente ao longo de toda a sondagem (desde os 52 aos 190m de profundidade), e uma variação entre 74,1 e 75 °C em regime dinâmico, excepção feita aos 10m mais profundos da sondagem, onde se verifica inversão do gradiente geotérmico, tanto para o regime estático como dinâmico, decrescendo a temperatura até 74 °C.

Os valores dos parâmetros físico-químicos apresentados permitem enquadrar todos os níveis circulados inscritos abaixo do tubo de revestimento preliminar nas águas do "tipo Chaves", apresentando inerentes variações em profundidade que remetem para a segmentação da sondagem em 5 fracções (quadro 19):

Segmento 1 (42,5-51,5 m de profundidade)

À excepção do tramo coincidente com a instalação do tubo de revestimento preliminar, onde se verifica considerável acréscimo da temperatura medida em regime estático, o segmento 1 não apresenta grandes variações a destacar.

O significativo acréscimo da temperatura em regime estático no interior do referido tubo de revestimento é normal, visto que essa estrutura impede o acesso radial de fluidos, por isso a temperatura aumenta à medida que se avança para a base de instalação ("pé") do tubo, onde ocorre fluxo radial de fluidos geotérmicos.

Abaixo da base de instalação do tubo de revestimento preliminar verificam-se valores de temperatura e condutividade relativamente constantes, destacando-se um pequeno pico na temperatura medida em regime dinâmico coincidente com a base de instalação do tubo preliminar, devendo-se, possivelmente, a circulação de águas com temperatura elevada no filão de quartzo, estrutura geológica localizada com muro quase coincidente com o pé do referido tubo.

O pico de temperatura mencionado corresponde ao valor máximo identificado pela diagrafia, contrariando o esperado, pois era suposto que o máximo valor de temperatura estivesse associado à falha F1, principal responsável pela ascensão de água subterrânea, pelo que se supõe que o filão de quartzo constituirá uma estrutura com conexão privilegiada a F1, permitindo a migração ascensional das mais quentes águas entre as que circulam em F1 devido à maior tendência ascensional (por imposição da menor densidade) que os fluidos com maior temperatura apresentam.

Este é o único segmento onde a temperatura medida em regime dinâmico supera a temperatura medida em regime estático, o que se deve ao afluxo de águas provenientes do segmento 2 e (posteriormente) do pequeno pico registado no segmento 1, que em regime dinâmico circulam em sentido ascendente pela sondagem em direcção ao ponto de bombagem (relativamente próximo à superfície).

Segmento 2 (51,5-52,5 m de profundidade)

O segmento 2 coincide com a armadilha hidrogeológica inscrita aos 51,7-54 m e constitui o ponto onde se verificam, tal como no segmento 1, resultados inesperados relativamente ao modelo de circulação preconizado. Recorde-se que é consensual considerar a armadilha localizada aos 152m (segmento 5) como a principal responsável pela ascensão da água mineral, alimentando todas as

armadilhas localizadas nos segmentos 1,2,3 e 4, por isso esperava-se que a máxima temperatura identificar-se-ia no segmento 5. Ao invés disso, é no segmento 2 que se observa a máxima temperatura verificada em todo o log em regime estático, atingindo 75 °C tanto em regime estático como dinâmico.

Estes valores inesperados não advirão de perturbações na sonda, pois o ressalto de temperatura ocorre tanto na medição em regime estático como dinâmico e, em regime dinâmico, o acréscimo de temperatura mantem-se acima dos 52m, pois a água encontra-se a circular dentro da captação em sentido ascendente devido à bombagem estar a captar acima deste nível. Posto isto, os resultados poderão indiciar duas hipóteses, entre outras possíveis:

a) Hipótese 1 – a armadilha aí localizada estará conectada ao filão de quartzo, que proporcionará ascensão da água com elevada temperatura a partir de F1 e, posteriormente, até pela proximidade entre si e considerável dimensão da armadilha (corta a sondagem em 2,3 m), viabilizará o acesso privilegiado de água de elevada temperatura à armadilha inscrita no segmento 2.

O facto de nos molinetes verificar-se uma resposta acentuada do nível 52m poderá indiciar a mencionada conexão e rápida ascensão entre a falha principal e esta armadilha, sendo que no ensaio de molinetes, como o caudal bombado é algo reduzido, a falha principal alimentará o nível 52m simplesmente através do fluxo natural que ascende pela estrutura vertical circulada correspondente ao filão de quartzo, e talvez por isso não se verifique o (esperado) afluxo de água da falha principal para a captação nos ensaios de molinetes, pois a falha principal não necessitará de responder ao rebaixamento, visto que o sistema aquífero consegue dar resposta à perturbação através das fracturas subverticais (estruturas secundária cortadas por CC3 mais próximo da superfície), que constituirão meios circulados preferenciais com conexão privilegiada e potencial piezométrico equivalente à falha F1.

Contudo, as temperaturas medidas nos parâmetros de perfuração não vão de encontro a esta hipótese, pois durante a perfuração verificou-se apenas 69 °C neste segmento, temperatura baixa comparativamente á medida nas diagrafias (75 °C). Mas aquela temperatura de 69 °C, medida durante a perfuração, será afectada pelas águas mais frias provenientes de níveis circulados superiores, possivelmente mal isoladas pelo tubo de revestimento (na fase de perfuração deste segmento o tubo ainda estava instalado até 47m de profundidade e sem cimentação), motivando, devido aos elevados rebaixamentos impostos pelo método de perfuração a martele-fundo-furo, afluxo dessas águas frias para a sondagem, misturando-se com as águas quentes afluentes no segmento 2, o que resultará, durante a medição da temperatura dos fluidos de perfuração à boca do furo, em registos com menor temperatura devido à interferência de águas menos quentes provenientes de níveis circulados superiores;

b) Hipótese 2 – a armadilha verificada no segmento 2 desenvolver-se-á sub-horizontalmente cortando várias descontinuidades sub-verticais conectadas com a falha principal. A água mais quente e menos densa que circula na falha principal ascenderá rapidamente por inúmeras falhas verticais ou por estruturas de elevada permeabilidade (como a facha vertical de elevada fracturação identificada no perfil sísmico PSX-4) até ao segmento 2, circulando depois aí horizontalmente numa facha de água mais quente, resultando a elevada temperatura aí verificada da migração tendencial da água mais quente para níveis superficiais, neste caso aos 52m, formando aí uma lentícula de água com maior temperatura.

Contudo, caso a armadilha dos 52m se desenvolvesse subhorizontalmente, teria de cortar inúmeras estruturas verticais que providenciassem ascensão rápida para não perder temperatura durante a ascensão, e se tal ocorresse, a armadilha dos 52m, por estar conectada a várias descontinuidades verticais com ascensão rápida, teria de apresentar considerável afluxo de água, o que não se verificou durante a perfuração.

Das hipóteses apresentadas, talvez a hipótese 1 será mais realista, pois a hipótese 2 pressupõe uma estrutura circulada sub-horizontal e, embora o perfil sísmico correspondente não identifique qualquer estrutura subvertical considerável a esta profundidade, a elevada extensão de intercepção da armadilha pela sondagem (2,3 m, muito superior face às restantes identificadas pelas diagrafias abaixo do tubo de revestimento preliminar) sugere tratar-se de uma estrutura algo vertical, distanciando-se da geometria sub-horizontal definida na hipótese 2.

Segmento 3 (52,5-150 m de profundidade)

Na interface entre os segmentos 2 e 3 a temperatura decai repentinamente, descendo para os 74,5 °C em regime estático e aproximadamente 74,1 °C em regime dinâmico.

Enquanto a temperatura registada em regime estático mantem-se constante, a temperatura medida em regime dinâmico apresenta um aumento de gradiente quase progressivo à medida que se avança em profundidade, igualando a temperatura registada em regime estático aos 150m, profundidade final do segmento 3, o que sugere afluxo de água á captação com potencial térmico crescente conforme a maior profundidade em que os níveis circulados do segmento 3 se instalam.

Segmento 4 (150-192,5 m de profundidade)

Após o crescente aumento do gradiente geotérmico verificado no segmento 3, aqui a temperatura registada em regime dinâmico iguala o registo em regime estático, mantendo-se constante ao longo de todo o segmento, depreendendo-se por isso que este segmento compreende os níveis circulados com maior gradiente em profundidade, possivelmente alimentando níveis circulados superiores. Recorde-se que este segmento enquadra a armadilha que se preconiza como a principal responsável pela ascensão de água mineral do “tipo Chaves”.

À parte da análise respectiva a este tópico, focada no contexto físico-químico, menciona-se que embora os ensaios de molinetes não identifiquem afluxo de água á sondagem aos 150 m de profundidade, o facto de os valores de temperatura medidos em regime estático e dinâmico se igualarem pressupõe correspondência com um nível circulado instalado a cerca de 150m de profundidade.

Segmento 5 (192,5-205 m de profundidade)

O segmento verifica particularidades únicas relativamente aos restantes. Aqui, os registos da temperatura em regime dinâmico e estático identificam inversão do gradiente geotérmico, sendo consensual apontar para este segmento afluxo de águas com menor temperatura face aos restantes segmentos.

Também a condutividade apresenta singularidades neste sector. Contrariamente à constância verificada ao longo de toda a extensão da sondagem, os valores relativos à condutividade corrigida para 25 °C apresentam variações, divergindo progressivamente em profundidade. Os registos obtidos em regime dinâmico traduzem muito muito ténue (praticamente imperceptível) decréscimo face aos restantes segmentos, e os obtidos em regime estático expõe um ligeiro acréscimo.

Enquanto a variação da temperatura em ambos os regimes ocorra consensualmente, os registos da condutividade, devido aos comportamentos divergentes em regime estático e dinâmico, suscitam questões relativamente às causas que o motivam e, consequentemente, à origem das águas que afluem à captação neste segmento.

Perante o exposto apontam-se várias possibilidades quanto à origem das águas provenientes do segmento da captação em análise:

a) Hipótese 1 - A água mais fria mas mais mineralizada (a condutividade aumenta em regime estático) que aflui neste segmento resultará de lenta circulação no seu percurso ascendente comparativamente aos níveis circulados inscritos nos restantes segmentos, por isso perderá temperatura no circuito ascendente e, ao mesmo tempo, como a circulação será mais lenta, a água ficará mais tempo em contacto com o maciço promovendo a mineralização (caso circule em meios geológicos propícios ao acréscimo da mineralização), afluindo à sondagem mais fria e mais mineralizada face à afluente nos restantes segmentos.

Possivelmente, esta água com menor temperatura será proveniente da falha F2 (identificada no perfil sísmico PSX-1 – anexo VIII) que, a prolongar-se para os Campos do Tabolado, contemplará a conexão com estruturas subverticais onde ascende água entre F2 e F1. Dessa forma, parte da água circulante em F2 migrará para a rede de fracturas subverticais com as quais contacta e, face à menor abertura e desenvolvimento desta rede de fracturas por imposição do acréscimo da tensões litostáticas em profundidade, terá ascensão com velocidade mais reduzida relativamente à água que ascende exclusivamente através das estruturas F2 e F1 (estruturas de condução preferencial para a superfície), motivando a perda de temperatura e acabando por afluir à sondagem mais fria face às águas que aí afluem com proveniência de F1.

Conforme o exposto, a circulação da água presente neste segmento migra de F2 para fracturas subverticais, onde ascende até próximo de CC3, sendo depois conduzida para CC3 através de pequenas fracturas que conectam a sondagem às principais estruturas subverticais. A conexão à captação através de pequenas fracturas e não através de fracturas subverticais principais preconiza o facto de a sondagem não interceptar neste segmento fracturas definidas pelas diagrafias, supondo-se apenas a presença de pequenas fracturas de dimensão inferior à capacidade de detecção pelos meios utilizados.

Esta hipótese tem por base o decréscimo de temperatura verificado (0,5 °C) e o ligeiro aumento da mineralização registada em regime estático. No entanto, o ténue (praticamente imperceptível) decréscimo da condutividade verificada aquando da medição em regime dinâmico contrapõe esta suposição (se bem que que esse ténue decréscimo poderá não se considerar um factor relevante, visto que é praticamente imperceptível).

Introduzindo outros factos na equação que não só os registos de temperatura e condutividade inerentes a CC3, é possível apontar mais elementos em acordo com a hipótese proposta, como: (i) o afluxo considerável (13%) destas águas mais frias identificado nos ensaios de molinetes realizados em CC3; (ii) o registo de acesso de águas com menor temperatura a AC2 durante a perfuração de CC3 no período de máximos caudais de perfuração (entre os 150-186m, antes de CC3 interceptar a profundidade onde as diagrafias verificam inversão de gradiente); e (iii) a inversão de gradiente geotérmico que caracteriza AC1, factos que indiciam a presença de águas desta tipologia numa ampla área dos Campos do Tabulado, enquadrando-se por isso no modelo de circulação para a zona de descarga;

b) Hipótese 2 - Nesta hipótese, contrariando por completo a proposta a), a água que circula no segmento 5 será água “normal” (água fria e menos mineralizada) que circulará em sentido descendente na interface filitos/granitos (interface identificada na reconstituição do log da sondagem).

Esta água, com circulação contrária à água do tipo Chaves, tendo possivelmente recarga através do contacto à superfície entre xistos e granitos, migrará descendentemente em profundidade através de descontinuidades inerentes á interface mencionada, afluindo à sondagem através dos corpo granítico.

Esta hipótese estará, de certa forma, de acordo com a redução da temperatura e da condutividade em regime dinâmico. Contudo, o ligeiro acréscimo do valor da condutividade registada em regime estático põe em causa esta hipótese, e mesmo o decréscimo verificado na

condutividade em regime dinâmico é muito ténue, quase imperceptível, mantendo-se os valores da condutividade enquadrados nas águas do “tipo Chaves”.

Também do ponto de vista hidráulico não é fácil defender esta proposta, pois como o potencial hidráulico do aquífero mineral de Chaves é certamente superior ao potencial das águas normais da região, caso o segmento interceptasse águas “normais”, as águas minerais, por ter maior potencial hidráulico, invadiria o aquífero de águas “normais” (especialmente com CC3 em regime estático), não deixando estas afluir á captação (principalmente a esta profundidade, onde o potencial das águas minerais presentes é muito elevado) e, dessa forma, como as águas “normais” não afluiriam para a captação, não haveria motivos para ocorrer a diminuição de temperatura no segmento em causa, pois estaria preenchido com águas quentes do “tipo chaves”, ou seja, o registo da temperatura em regime estático manter-se-ia com o valor constante do segmento 4, à imagem do ocorrido no segmento 3, onde existe afluxo de águas de menor temperatura.

c) Hipótese 3 – O decréscimo da temperatura resultará do aprisionamento de água injectada na perfuração à rotary, sendo que uma porção da água fria injectada teria ficado aprisionada no fundo da captação.

Esta suposição enquadrar-se-ia com o decréscimo da temperatura, mas estaria em total desacordo com os registos da condutividade, pois para tal se verificar a condutividade deveria descer nitidamente neste segmento e, para além de apenas apresentar uma descida quase imperceptível em regime dinâmico, em regime estático ocorre um acréscimo face aos restantes segmentos.

Embora não existam dados que permitam afirmar garantidamente o descarte desta hipótese, a presente constituir-se-á inviável, pois para resultar de água retida da injecção à rotary (a água injectada proveio do rio, incorrendo condutividade muito inferior às águas que afluem à captação) seria impossível verificar-se o aumento da condutividade registado neste segmento em regime estático. Além disso, o afluxo de água apontado pelos ensaios de molinete, o registo de acesso de águas com menor temperatura a AC2 durante a perfuração de CC3, no período de máximos caudais de perfuração (entre os 150-186m, antes de CC3 interceptar a profundidade onde as diagrafias verificam inversão de gradiente), e a inversão de gradiente geotérmico que caracteriza AC1, compreendem uma concertação de factos que inviabilizam esta hipótese, sendo a água respeitante a este segmento associada ao modelo de circulação e não a uma pontualidade ocorrida nas imediações de CC3.

d) Hipótese 4 – A diminuição da temperatura derivará do aprisionamento de água do “tipo Chaves” em fracturas não circuladas mas conectadas a F1, resultando a diminuição da temperatura e aumento da condutividade do elevado tempo de residência no maciço num regime de circulação estagnado ou com reduzidíssima velocidade.

Porém, a proximidade (cerca de 5m) a estruturas circuladas sem inversão de gradiente, o afluxo considerável (13%) identificado nos ensaios de molinete e o registo de acesso de águas com menor temperatura a AC2 durante a perfuração de CC3, no período de máximos caudais de perfuração (entre os 150-186m, antes de CC3 interceptar a profundidade onde as diagrafias verificam inversão de gradiente), e a inversão de gradiente geotérmico que caracteriza AC1, compreendem uma concertação de factos que inviabilizam esta hipótese, sendo a água respeitante a este segmento associada ao modelo de circulação e não a uma pontualidade ocorrida nas imediações de CC3.

Segundo a informação disponível, é mais provável que a origem das águas deste segmento (192,5-205 m de profundidade) siga (embora susceptível a ajustes) o enquadramento na hipótese 1, mas sem esquecer que é apenas uma hipótese sem dados concretos que a comprovem.

Face à inconsistência da informação relativa ao segmento 5 (192,5-205 m de profundidade), para decifrar a origem das águas aí afluentes seria útil, aquando da realização de futuras sondagens, reforçar a qualidade do controlo hidrogeológico deste nível circulado.

Através da integração da informação obtida na análise dos 5 segmentos diferenciados, e sobretudo com base nos registos referentes ao segmento 3 (52,5-150 m de profundidade), onde se verifica constância dos valores de condutividade e de temperatura em regime estático, e simultaneamente superior temperatura em regime estático face ao dinâmico, é possível apontar indícios de circulação entre o segmento 4 (150-192,5 m de profundidade) e o segmento 2 (51,5-52,5 m de profundidade) através da captação.

Como a temperatura medida em regime dinâmico mantêm o mesmo valor em regime estático, possivelmente, o segmento 4, contribuirá para a recarga do segmento 2 através de circulação ascendente pelo interior da captação, estrutura que nesta fase dos trabalhos (sem instalação da coluna de revestimento definitiva) constituirá um meio de conexão preferencial entre os vários níveis circulados por ela interceptados.

O inverso (nível 2 a alimentar os níveis inferiores) será pouco provável. Para tal acontecer não se verificaria a queda abrupta da temperatura em regime estático na interface entre os segmentos 2 (51,5-52,5 m de profundidade) e 3 (52,5-150 m de profundidade).

12.5. Construção da captação

A sondagem de pesquisa foi realizada segundo os diâmetros finais previstos para a captação, pelo que não foi necessário proceder a alargamentos do diâmetro de perfuração para transformar a sondagem de pesquisa em captação.

O tubo em aço carbono inicialmente instalado até aos 48 m de profundidade, com o intuito de conferir estabilidade às paredes de perfuração acima deste nível, visto que apresentavam alguma instabilidade mecânica, foi descido até aos 60m (após o respectivo alargamento da sondagem entre os 48 e os 60 m), medida que contempla proporcionar o isolamento preliminar dos níveis circulados acima desta profundidade, níveis esses mais vulneráveis a contaminação e caracterizados (segundo o controlo hidrogeológico) por valores de temperatura inferiores aos que se pretendem captar (> 70 ^{o}C).

Perante a inversão do gradiente geotérmico identificado pelas diagrafias diferidas abaixo dos 194 m de profundidade, projectou-se a cimentação do segmento 184-208 m, com a finalidade de estancar o afluxo de níveis circulados desta secção, onde poderá afluir água termicamente menos interessante relativamente às formações sobrejacentes.

A construção da captação é definida pelo quadro 20, sendo a respectiva coluna de revestimento definitiva (principal elemento estrutural da captação) constituída em aço inox AISI 316 L, material resistente à oxidação, corrosão e ao aquecimento imposto pela água mineral em causa, garantindo maior durabilidade relativamente a outros materiais. Além do exposto, a natureza do material não provoca alteração da composição da água ou migração dos seus componentes para a água, não afectando portanto os parâmetros físico-químicos da água captada.

As soldaduras entre tubagens realizaram-se com recurso a atmosfera inerte (árgon), técnica que pretende suprir a contaminação da solda, eliminando potenciais imperfeições associadas à realização da soldadura em obra que promoveriam pontos susceptíveis ao alojamento de colónias de bactérias (nas irregularidades da soldadura) e maior probabilidade de deterioração precoce.

Genericamente, a coluna de revestimento compõe-se por dois segmentos, a câmara de bombagem e a coluna de captação e condução da água à câmara de bombagem.

A geometria da câmara de bombagem preconiza o diâmetro necessário para instalação da bomba de extracção e o desenvolvimento em profundidade que garanta seguramente os rebaixamentos impostos pelo regime de extracção estabelecido pela procura prevista, determinados em função do caudal específico de AC2, estrutura que capta na mesma armadilha geológica (falha F1) que se pretende explorar em CC3.

Para além dos parâmetros pré-definidos no projecto em função dos rebaixamentos necessários à exploração pretendida, a localização do pé da câmara de bombagem a cerca de 50m de profundidade impossibilita adicionalmente que os rebaixamentos alcancem o tecto da primeira armadilha circulada com água do "tipo Chaves"- o filão de quartzo localizado entre 42-48 m de profundidade, e que certamente apresentará conexão com os níveis circulados profundos captados.

A coluna de captação e condução de água à câmara de bombagem tem como principais elementos os 4 tramos de tubos ralo que constituem os pontos de afluxo de água do maciço para o interior da captação. Os tramos localizam-se nos segmentos mais profundos da sondagem com o intuito de captar apenas os níveis identificados com circulação de água mineral mais quente e menos vulnerável à contaminação, de acordo com o exposto no quadro 20, onde se pode ainda averiguar a concertação entre os níveis circulados a captar e a instalação dos tubos ralo.

Os ralos dos tubos que os compõem, do tipo fenda contínua com slot de 2mm (em conformidade com a granulometria do filtro de seixo aplicado – 3 a 5 mm), 30% de área aberta, compreendem a maior percentagem de área aberta disponível no mercado, opção que determina a menor velocidade possível de entrada de água na captação, diminuindo ao máximo as perdas de carga e a probabilidade de afluxo em regime turbulento.

O preenchimento do espaço anelar, que envolve e acondiciona a coluna de revestimento definitiva conferindo protecção contra possíveis desmoronamentos das paredes naturais, compreende cimentação no segmento 0-105 m, bentonite dos 105 aos 110 m e seixo calibrado dos 110 m até ao pé da captação, localizado a 185 m de profundidade.

A coluna de seixo calibrado desenvolve-se ao longo de todo o segmento onde se identificam as armadilhas geológicas que se pretendem captar, conferindo uma espécie de estrutura acessória que, para além da protecção exterior da coluna, promove: o aumento do raio específico da captação, através da confecção de uma área de elevada porosidade exterior à coluna de revestimento definitiva; a construção de um filtro artificial, que impede o acesso à captação de possíveis partículas sólidas provenientes do afluxo do aquífero; e providência um canal de conexão entre os ralos e níveis circulados com eles desalinhados e/ou entre os ralos e níveis circulados não detectados durante a pesquisa, que quando situados nos segmentos susceptíveis a captação promoverão o acréscimo de caudais disponíveis.

A nível construtivo, embora o tramo de ralos mais profundo esteja envolvido por uma espessura de filtro de seixo algo reduzida (apenas 1", enquanto a bibliografia indica genericamente 3") não se prevêem efeitos negativos, visto que a o segmento em causa atravessa maciço coerente de elevada dureza com circulação fissural, pelo que não se supõe a necessidade de elevada capacidade de filtração por parte do maciço artificial (como é exigido pelos maciços detríticos). Posto isto, neste segmento, além da condução de água do aquífero para os ralos com a menor perda de carga possível, o filtro de seixo apenas preconiza o acondicionamento da coluna de revestimento, sendo necessário simplesmente o espaço anelar suficiente para possibilitar o seu devido preenchimento pelas partículas de seixo sem obstruções no movimento de descida que possam originar volumes vazios e, consequentemente, o indevido acondicionamento da coluna de revestimento.

Quanto ao isolamento dos níveis circulados que não se pretendem captar, a coluna cimentada que se desenvolve desde a superfície até ao filtro de seixo desenvolve um papel crucial, estabelecendo estanqueidade a todo o segmento acima dos níveis que se pretendem captar,

constituindo por isso a principal estrutura responsável por impedir o acesso à captação de águas circulantes em níveis não pretendidos e de elementos poluentes, além de promover uma capa protectora à coluna de revestimento definitiva, impossibilitando o contacto entre esta e possíveis agentes susceptíveis de lhe causar detioração.

Quadro 20. Exposição do projecto de construção da captação e dos níveis circulados interceptados.

Exposição do projecto de construção da captação e dos niveis circulados interceptados

Níveis circulados identificados através do controlo hidrogeológico						Níveis circulados inferidos através das diagrafias							Estrutura da captação CC3								
Parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos						Descontinuidades				Níveis circulados			Profundidade		Coluna			Espaço anelar		Natureza das paredes	
Níveis aquíferos atravessados (m)	Caudal acumulado (l/s)	Caudal por nível circulado (l/s)	pH	Temperatura (ºC)	Condutividade (µS/cm)	Profundidade: Tecto (m)	Profundidade: Base (m)	Espessura da fractura (m)	Objecto	Profundidade: Tecto (m)	Profundidade: Base (m)	Afluxo de água á captação (%)	Topo (m)	Base (m)	Estrutura	Tubo	Diâmetro (Polegadas)	Preenchimento	Dimensão (Polegadas)	Esxterior	Interior
													(+)0,8	0	Cabeça da captação	Cego	8"	-----	-----	-----	-----
38	5,5	5,5	8,2	46	2547								0	50	Câmara de bombagem			Calda de cimento	2 1/4"	Aço carbono	Aço inox
										47,7	47,8	14	50	60	Coluna de captação e condução da água captada á câmara de bombagem		4"		4 1/2"		
						48,3	49	0,7	Fractura												
						51,7	54	2,3	Fractura	52,2	53,6	42									
						55,2	56,7	1,5	Fractura	53,6	62,8	10									
60	15	9,5	---	69	---																
						90,1	90,7	0,6	Fractura	89	90,3	7	60	105					2 1/4"	Maciço rochoso	
													105	110				Compactonite			
													110	120				Seixo			
130	18	3	---	70	2926	122,1	122,7	0,6	Fractura	122,1	129,1	7	120	130		Ralo					
						125,8	126,5	0,7	Fractura												
						127,8	128,6	0,8	Fractura												
													130	142		Cego					
						144,8	145,4	0,6	Fractura				142	152		Ralo					
						146,8	147,2	0,4	Fractura												
152	67	49	7,9	71	2946	150,1	151,9	1,8	Fractura												
													152	158		Cego					
						162,1	162,7	0,6	Fractura	160,8	161,7	7	158	165		Ralo					
													165	168					1"		
174	80	13	---	74	2900	171,2	172	0,8	Fractura				168	174		Cego					
180	94	14	7,8	74	3010	178,4	179,4	1	Fractura				174	179		Ralo					
						179,9	181,2	1,3	Fractura				179	185		Cego					
													185	190					Totalidade da área de perfuração		
						192,4	193,3	0,9	Fractura	192,7	194,2	*1	190	208	-----	-----	-----	Calda de cimento			-----
						194	195,6	1,6	Fractura												
										200,7	203,3	13									

Legenda: *1 Perturbação no molinete e decréscimo da temperatura;
Niveis circulados total ou parcialmente enquadrados com tubos ralo.

Notas: Todos os níveis circulados identificados pelo ensaio de molinetes contemplam água mineral.
Verifica-se inversão do gradiente geotérmico abaixo dos 194,2 m de profundidade.
Os niveis circulados identificados pelo controlo hidrogeológico dispõe-se alinhados com as fracturas ás quais se supõe corresponder.

Notas: **Granulometria do seixo** - 3-5 mm
Natureza da tubagem constituinte da coluna - Aço inox com união por soldadura em atmosfera inerte
Caracterização dos tubos ralos - ralos de fenda contínua, com slot de 2 mm a área aberta de 30 %

12.6. Ensaios de caudal

Os ensaios de caudal, ao possibilitar a avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero, constituem uma fonte de dados útil à corroboração do modelo hidrogeológico

Com o intuito de averiguar a interferência entre as diferentes captações de água mineral localizadas na zona de descarga, os ensaios de caudal, para além da tradicional medição de níveis em função de diferentes caudais extraídos ao longo do tempo em CC3, que permitem determinar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero e a eficiência da captação, contemplaram ainda o registo do pH, condutividade, temperatura, níveis hidrodinâmicos e caudais de extracção nas captações AC1, AC2 e CC3, Termas Romanas e no Rio Tâmega (quadro 21).

Os parâmetros medidos nas estruturas captantes associadas à circulação de água mineral permitem a identificação de interferências induzidas pelas extracções impostas em AC1, AC2 e CC3, enquanto os parâmetros medidos no Rio Tâmega pretendem, dada a proximidade, averiguar a influência fluvial sobre o sistema de circulação de água mineral na zona de descarga.

As captações AC1 e AC2 mantiveram o normal regime de funcionamento durante os ensaios de caudal realizados em CC3, e não se registaram, por acção dos referidos ensaios, influências nos seus respectivos parâmetros Hidrodinâmicos (caudal e piezometria) medidos.

Daí, destaca-se o facto de o ensaio de caudal não suscitar influências a nível hidráulico em AC1 e AC2, o que não é de estranhar, pois os caudais extraídos em CC3 durante o ensaio de caudal são muito reduzidos face ao potencial do aquífero. Recorde-se que durante a perfuração foram registados caudais de perfuração na ordem dos 94 l/s, e a empresa responsável pela construção da captação indica que durante os trabalhos de limpeza e desenvolvimento, realizados durante 90 horas, compreenderam a extracção de caudais na ordem dos 300m3/h (83 l/s) incutindo níveis hidrodinâmicos até 40m de profundidade, pelo que o ensaio de caudal, de tão curta duração em extracção permanente (8 horas em regime escalonado e 48 h em regime permanente, com 8h de recuperação entre si), não incutiu variações identificáveis em AC1 e AC2, dada a reduzida perturbação hidráulica estabelecida.

Os parâmetros medidos no Rio Tâmega apresentam relativa constância, à excepção do pH, e não se identifica, pelas informações aqui disponibilizadas, qualquer influência imposta pelo regime fluvial ao sistema hidromineral. Contudo, as conclusões apresentadas não podem ser extrapoladas de forma tão imediata, visto que variações no nível da água do rio durante o ano hidrológico poderão influenciar o sistema, situação impossível averiguar com este ensaio de curta duração, pois não ocorreu neste período variações no nível do rio.

Das observações verificadas durante os ensaios de caudal, os factos mais importantes, e que a seguir se discutem, resultam de influências causadas pelo ensaio a caudal contínuo, associando-se por isso diferente comportamento da captação para extracções ininterruptas com caudais pelo menos de 15 l/s por mais de uma dezena de horas.

Nas termas, durante o ensaio a caudal contínuo, parece haver correspondência evolutiva entre os níveis hidrodinâmicos aí registados e os verificados em CC3, remetendo para o facto de a falha F1, principal estrutura onde CC3 capta, constituir uma estrutura primordial também na alimentação das emergências localizadas fora dos Campos do Tabolado.

Em CC3, os valores de pH registados verificam descida quase contínua (excepção do segundo registo de medição) ao longo de todo ensaio de caudal. Da comparação entre os diferentes locais de medição (captações e Termas Romanas), no que respeita ao parâmetro pH destacam-se as amplitudes dos valores inerente a AC1 (1,3) e CC3 (2,4), algo elevadas para águas minerais, e a disparidade de valores entre as captações mencionadas e AC2, principalmente entre CC3 e AC2, visto que ambas captam na mesma armadilha, a falha F1.

No decorrer do ensaio a caudal contínuo, os valores de pH entre CC3 e AC1 tendem a aproximar-se à medida que o ensaio evolui em regime de extracção. Observando o desenvolvimento gráfico, não parece que AC1 reaja em função de CC3, pelo contrário, os valores de CC3 é que vão de encontro aos de AC1 à medida que a extracção avança, verificando-se relativa estabilidade de valores na recta final do ensaio.

Muito provavelmente, o ocorrido dever-se-á à promoção de um desenvolvimento adicional da captação por imposição do aumento do caudal de extracção do ensaio, com consequente substituição de águas presentes nas imediações de CC3. Recorde-se que os ensaios de caudal constituem a primeira extracção equilibrada na captação, visto que os trabalhos realizados anteriormente – limpeza e desenvolvimento, incutem grande turbulência nas imediações da captação, podendo decorrer o caso de a evolução de pH mencionada para CC3 resultar da substituição de água residente nas proximidades da captação e que esteve sujeita a perturbações impostas pelos trabalhos anteriormente realizados, caminhando a captação para o estado de equilíbrio à medida que ocorre a substituição dessa água e o suposto desenvolvimento adicional da captação durante o ensaio.

A condutividade em CC3 regista o acréscimo de cerca de 200 µS/cm ainda antes do inicio dos ensaios de caudal, pelo que não deriva de influencias impostas pelo ensaio de caudal. Já durante o ensaio a caudal contínuo ocorre ligeiro acréscimo (cerca de 130 µS/cm), talvez relacionado com o acesso de águas mais mineralizadas a CC3 em virtude das extracções realizadas e da suposta substituição de águas nas imediações da captação.

Ainda durante a extracção a caudal contínuo, que corresponde aos maiores caudais de extracção e maior período de tempo de bombagem ininterrupto, observa-se em CC3 ligeiro aumento da temperatura.

O verificado denuncia o possível potenciamento da captação devido a afluxo de água com maior temperatura aquando de extracções regulares/constantes ou da extracção contínua a caudais superiores a 15 l/s (pelo menos 14 horas de extracção contínua, com base no observado nos resultados do ensaio a caudal contínuo). Isto poderá ocorrer também devido à promoção do desenvolvimento adicional e substituição da água residente nas armadilhas conectadas a CC3 e que a ela aflui.

Caso não se verifique nesta fase o suposto desenvolvimento adicional da captação com substituição das águas residentes nas suas imediações, as variações poderão estar directamente relacionadas com o modelo de circulação e não com a evolução da eficiência da captação. Neste caso, o foco direcciona-se para a origem das águas e respectivo comportamento do aquífero, apontando-se outras conjecturas para as variações enunciadas, como por exemplo o facto de as águas circulantes em F1 apresentarem ligeira variação térmica no seio da armadilha, promovendo-se com o aumento de caudais o acesso a CC3 de águas quentes circulantes em pontos de F1 algo afastados de CC3 que, face à perturbação imposta pelo aumento de caudais, migrarão para CC3 para combater os rebaixamentos impostos, promovendo assim o acréscimo térmico verificado com o aumento de caudais.

Pelo observado no ensaio de caudal, supõe-se que o potenciamento térmico motivado pelo afluxo de águas mais quentes à captação resultará de extracções com caudais pelo menos equivalentes a 15 l/s durante períodos superiores à dezena e meia de horas.

Posto isto, presume-se que durante o regime de exploração de CC3 obter-se-ão águas de maior temperatura devido à extracção frequente, que promoverá a substituição regular das águas circulantes nas armadilhas localizadas nas imediações de CC3.

Segundo os apontamentos realizados em tópicos anteriores, caudais excessivamente elevados (pelo menos na ordem dos caudais de perfuração de CC3 – 94 l/s) promovem ascensão de águas de menor temperatura (segundo o verificado em AC2 durante a fase de perfuração de CC3)

provenientes de fracturas subverticais localizadas sob a falha F1, as quais são alimentadas a elevada profundidade a partir de F2 com velocidade de circulação reduzida.

Em contraposição, pelo verificado nos gráficos representativos da evolução das temperaturas (figura 46) durante o ensaio de caudal, caudais reduzidos, ou pelo menos inferiores a 10 l/s extraídos esporadicamente, também não providenciam o melhor aproveitamento térmico, supondo-se que o maior potencial térmico associar-se-á a caudais de extracção intermédios aos extremos mencionados (94 l/s e 10 l/s) por possibilitar acesso de águas com maior temperatura a CC3. Atente-se que em AC2, que capta na mesma armadilha e regularmente, as temperaturas registadas rondam os 77 °C (temperatura que se pretende alcançar em CC3), enquanto em CC3 apenas se alcançou a máxima temperatura de 74 °C, e isto ao fim de mais de 14 horas de extracção consecutiva a caudais superiores a 15 l/s.

Será interessante realizar ensaios de bombagem com períodos de tempo e caudais de extracção evolutivos (incluindo períodos de longa duração e caudais excessivos), por forma a atestar as suposições estipuladas e promover o maior potenciamento geotérmico na captação através do escrutínio dos caudais e da frequência de extracções que promovam o melhor aproveitamento térmico. Isto sem comprometer, como é lógico, a reversibilidade das perturbações impostas ao regime natural de circulação pelas exigências hidráulicas que os referidos ensaios estabelecerão.

A proposta relativa à realização de ensaios de caudal segundo as condições mencionadas surge tendo em conta que, à data dos ensaios de caudal realizados, a captação encontra-se bem desenvolvida e não lhe são associados factores condicionantes induzidos (perturbações impostas pelos trabalhos de construção da captação), pois, caso contrário, é normal que os parâmetros medidos evoluam no sentido do equilíbrio (como ocorre com o pH) e que a captação verifique aumento da eficiência (como ocorre com a temperatura), visto que perante este cenário, as primeiras extracções a caudais relativamente consideráveis promoverão o referido desenvolvimento adicional da captação, o acondicionamento dos materiais geológicos a ela envolventes, e a substituição da água aí presente, potenciando a evolução progressiva da captação em sequência do exposto.

Para finalizar, remete-se o foco de análise para as captações AC1 e AC2.

Em AC1, dadas as elevadas amplitudes verificadas nos valores de NHD's e pH e o inferior valor da temperatura relativamente a AC2, deduz-se que a armadilha onde AC1 capta (filitos muito fracturados) não apresentará o elevado equilíbrio hidráulico e físico-químico proporcionado pela falha F1, onde AC2 capta, visto que AC2 regista equilíbrio em todos os parâmetros medidos e maior valor de temperatura face a AC1.

Para CC3, preconiza-se que a obra, após estabelecer-se o caudal óptimo de extracção, obtenha o valor de temperatura e equilíbrio físico-químico e hidráulico que caracterizam AC2 (o que à data do ensaio em análise ainda não sucede), já que como ambos captam na mesma armadilha (F1), o potencial natural será equivalente.

Quadro 21. Parâmetros medidos no decurso dos ensaios de caudal (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014).

Parâmetros medidos no decurso dos ensaios de caudal

Data		Tempo	CC3					AC1					AC2					Termas				Rio			
Dia	Hora	acumulado (horas)	pH	Temp. (ºC)	Condut. (mS/cm)	Caudal (l/s)	NHD (m)	pH	Temp. (ºC)	Condut.	Caudal (l/s)	NHD (m)	pH	Temp. (ºC)	Condut.	Caudal (l/s)	NHD (m)	pH	Temp. (ºC)	Condut. (mS/cm)	NHD (m)	pH	Temp. (ºC)	Condut. (mS/cm)	NHD (m)
11	18:00	0				0	4,1	6,8	69	959	22,32	6,8	8,4	77,4	886	4,55	8,4	5,7	31	1740	0,4				2,6
	21:00	3	8,6	72	2410	0	4,1																		
	23:00	5	6,5	71,8	2710	0	4,1																		
12	01:00	7				2,5	4,1											5,7	90 (??)	1740	0,4				
	03:00	9				2,5	4,1	5,5	68,7	936	22,4	5,5													
	05:00	11				5	4,6						8,4	77,4	886	4,54	8,4								
	10:00	16				0	4,1	5,6	68,9	936	22,3	5,6	8,4	77,3	886	4,54	8,4	5,7	29,8	1700	0,42	6,7	19	110	
	16:00	22				0	4,1						8,5	77,3	885	4,55	8,5	5,7	30,1	1820	0,42				
	17:00	23				0	4,1															8	20	120	2,6
	18:00	24	7,3	71,1	2760	15	8,56																		
	19:00	25				15	8,56															7,7	20,1	110	2,6
13	07:00	37	6,7	73,5	2780	15	8,75	6,4	68,5	850	22,3	6,4	8,4	77,4	876	4,49	8,4	5,7	30,1	1980	0,65				
	12:00	42				15	8,75	6,4	68,7	850	22,2	6,4	8,4	77,4	875	4,5	8,4	5,8	30,6	1830	0,7	7,2	20,7	110	2,6
	17:00	47	6,4	73,5	2810	15	8,75	6,3	69,2	844	22,4	6,3	8,5	77,3	885	4,49	8,5	5,8	30,1	2010	0,76	7,5	22	110	2,6
14	07:00	61	6,2	74,1	2710	20	12,45	6	68,8	794	22,3	6	8,4	77,3	886	4,48	8,4	5,8	30,6	2060	0,88	7,2	20,9	110	2,63
	13:00	67	6,2	73,7	2890	20	12,45	6	68,6	859	22,5	6	8,4	77,4	855	4,56	8,4	5,8	32	2130	0,93	8	22	130	2,63
15	10:00	86				0	4,1	6	68,8	908	22,5	6,8	8,4	77,4	886	4,53	8,4	5,4	34,1	1600	0,64	8	21	120	2,6

Notas: Desconhece-se a unidade de medição dos valores de condutividade medidos em AC1 e AC2.
Período sem extracção: 0-5 horas; Período correspondente ao ensaio escalonado: 7-23 horas; Período correspondente ao ensaio a caudal contínuo:- 24-67 horas.

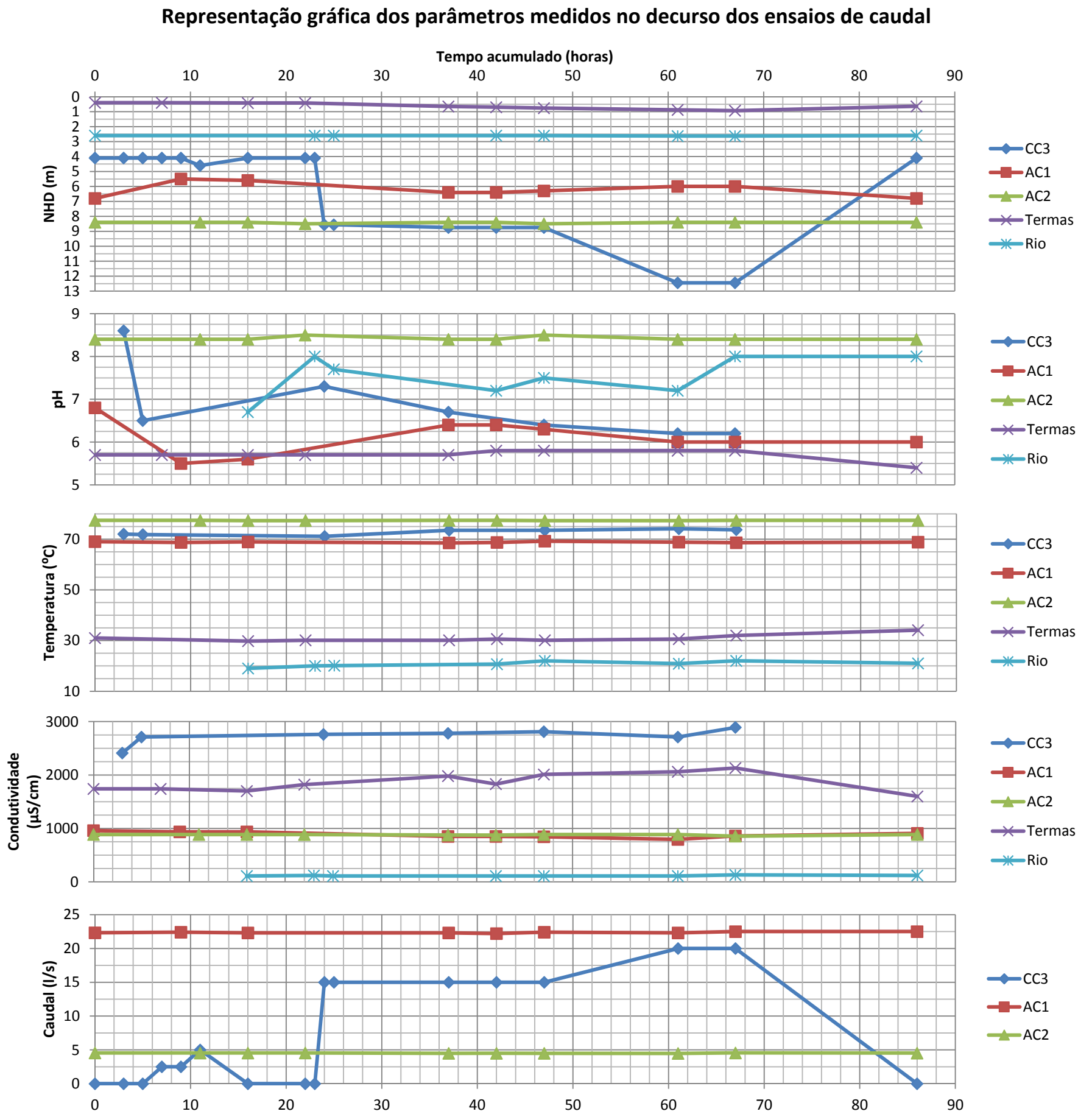


Figura 46. Representação da evolução do NHD, pH, temperatura, condutividade e caudal extraído medidos em AC1, AC2, CC3, Termas Romanas e Rio Tâmega durante os ensaios de caudal.

12.6.1. Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral de Chaves

A avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos mais divulgados e utilizados compreendem características excepcionais dos aquíferos: homogeneidade, isotropia, desenvolvimento infinito, espessura constante, horizontalidade, entre outros, ou seja, aquíferos nos quais o aquífero hidromineral de Chaves não se enquadra minimamente. Recorda-se que se trata de um aquífero fissurado, que só por si põe em causa todas as características mencionadas. Apesar disso, no âmbito do presente trabalho utilizaram-se várias aproximações considerando o modelo contínuo equivalente em regime transitório e em regime de equilíbrio.

Como já mencionado anteriormente, os ensaios de caudal realizados em CC3 não suscitaram interferências quantificáveis nas restantes captações existentes (AC1 e AC2), sendo tal verificado apenas nas Termas Romanas, pelo que a análise cingiu-se pontualmente a CC3, que permitiu extrair os parâmetros transmissividade e caudal específico, e, a uma escala mais ampla, à interacção registada entre CC3 e as Termas Romanas (ver disposição geográfica na figura 55), que se traduz em rebaixamentos à distância de CC3, que para além da transmissividade permitiu adicionalmente o cálculo do coeficiente de armazenamento.

Posto isto, expõe-se em seguida os métodos de cálculo utilizados e a respectiva a prossecução no âmbito da determinação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral de Chaves, os quais se desenvolveram a partir dos registos decorrentes dos ensaios de caudal realizados (figuras 1 e 2 - anexo XI).

a) Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos com base nos registos de níveis efectuados em CC3

Método de Cooper-Jacob (ensaio de caudal de longa duração)

O método aplicou-se sob os rebaixamentos registados no ensaio de longa duração realizado em CC3 a caudal de extracção de 15 l/s.

A análise das representações gráficas que transmitem a evolução do rebaixamento em função do tempo (figura 47) permitem averiguar a existência de diferentes comportamentos nos rebaixamentos registados, pelo que apenas se utilizaram para o cálculo da transmissividade o registo de níveis compreendido entre os 15 e 60 minutos, período onde se verifica regime transitório puro.

Este método traduz transmissividade na ordem dos 624 m2/dia (quadro 22).

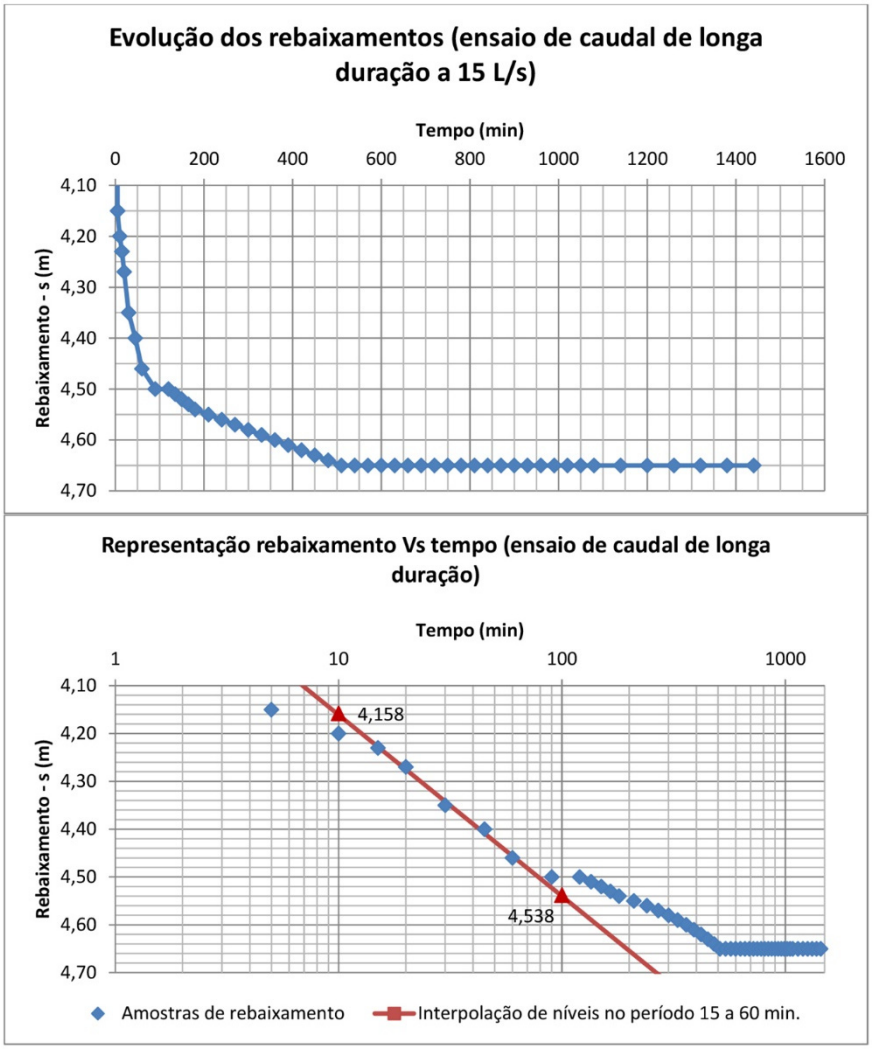


Figura 47. Evolução dos rebaixamentos em função do tempo no decurso do ensaio de caudal de longa duração com extracção de 15 L/s.

Quadro 22. Cálculo da transmissividade pelo método de Cooper-Jacob (ensaio de longa duração).

Cálculo da transmissividade pelo método de Cooper-Jacob (ensaio de longa duração)				
Designação	**Sigla**	**Fómula**	**Valor**	**Unidade**
Caudal	Q	---	15	l/s
			1296	m^3/dia
Declive da recta de interpolação das amostras em regime transitório	Δs	---	0,380	---
Transmissividade	T	0,183 x Q/Δs	624	m^2/dia

Aproximação de Logan (ensaio de caudal escalonado e de longa duração)

A aproximação de Logan (quadro 23) constitui uma forma de cálculo relativamente expedita, sendo no entanto, dadas as limitações dos registos de NHD's para aplicação de diversos métodos gráficos, uma importante fonte de informação face ao reduzido número de métodos de cálculo aqui possíveis realizar, fornecendo resultados adicionais para comparação com os resultados dos restantes métodos (gráficos) aplicados.

A título geral, do método resultam transmissividades compreendidas na ordem do intervalo 252 a 1054 m^2/dia.

Quadro 23. Cálculo da transmissividade pelo método de Logan.

Cálculo da transmissividade pelo método de Logan						
Ensaio de caudal	**Caudal - Q**		**Rebaixamento - s (m)**	**Caudal especifico - Qe**		**Transmissividade T= 1,22 Qe (m^2/dia)**
	(l/s)	**(m^3/dia)**		**(l/s/m)**	**(m^3/dia/m)**	
Escalonado	5	432	0,5	10	864,0	1054
	10	864	2,25	4,4	384,0	468
	15	1296	4,12	3,6	314,6	384
Longa duração	15	1296	4,65	3,2	278,7	340
	20	1728	8,35	2,4	206,9	252

Método de recuperação de Theis - ensaio de caudal de longa duração

A análise da evolução da recuperação no tempo identifica dois comportamentos distintos a nível hidráulico antes e após o tempo de 20 minutos em recuperação (figura 48). Até aos 20 minutos a recuperação desenvolve-se de forma muito rápida, ao invés do comportamento verificado após o decurso de 20 minutos, onde a recuperação ocorre muito lentamente.

Em consonância com o mencionado, apenas se utilizou para o cálculo os registos de níveis compreendidos no período de tempo após 20 minutos de recuperação, pois os registos compreendidos no período 0 - 20 minutos estarão, provavelmente, associados a recuperações afectadas pelas perdas de carga da captação. Em resultado, apresenta-se a transmissividade de 384 m2/dia (quadro 24).

Outro aspecto verificado na recuperação (figura 48) prende-se ao facto de o nível final de recuperação ser menor que o NHE, o que poderá resultar de um possível desenvolvimento adicional da captação e/ou do aquífero nas imediações de CC3.

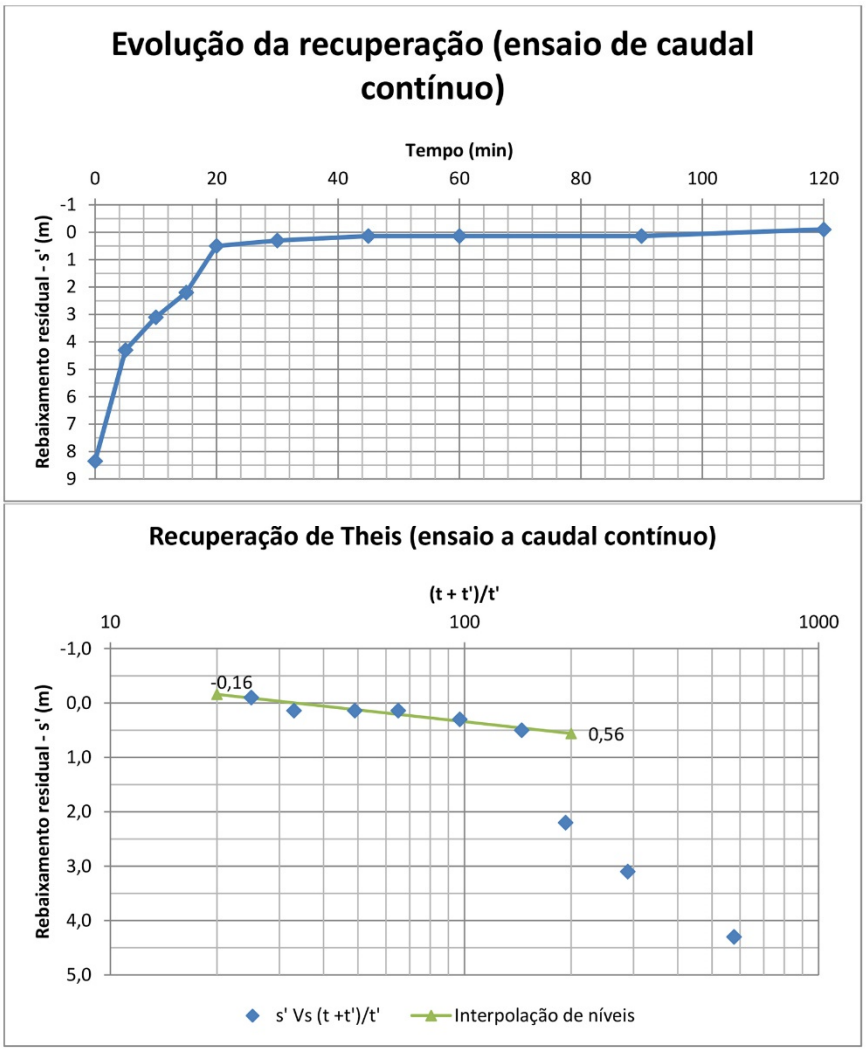


Figura 48. Evolução da recuperação após as etapas de extracção relativas ao ensaio de caudal de longa duração.

Quadro 24. Cálculo da transmissividade pelo método de recuperação de Theis (ensaio de caudal de longa duração).

Cálculo da transmissividade pelo método de recuperação de Theis (ensaio de caudal de longa duração)			
Dados			
Tempo em extracção - t (min)	Tempo de recuperação - t' (min)	Rebaixamento resídual - s' (m)	(t+t')/t'
2880	0	8,35	---
	5	4,30	577
	10	3,10	289
	15	2,20	193
	20	0,50	145
	30	0,30	97
	45	0,14	65
	60	0,14	49
	90	0,14	33
	120	-0,10	25

Cálculo da transmissivadade				
Designação	**Sigla**	**Fómula**	**Valor**	**Unidade**
Caudal médio de extracção	Q	---	17,5	L/s
			1512	m^3/dia
Declive da recta de interpolação das amostras em regime transitório	Δs	---	0,72	---
Transmissividade	T	0,183 x Q/Δs	384	m^2/dia

b) Determinação dos parâmetros hidrodinâmicos com base nos registos de níveis efectuados nas Termas Romanas

Método de Cooper-Jacob (ensaio de caudal de longa duração) usando as Termas Romanas como piezómetro

Nesta análise a captação das Termas Romanas funcionou como piezómetro onde se registaram rebaixamentos durante o ensaio de caudal realizado em CC3.

A distância de CC3 ao piezómetro é de 270m.

Não se detectaram desvios relevantes motivados por comportamentos hidráulicos diferenciados (figura 49), constituindo um registo regular em regime transitório, sem "quebras" ou "ressaltos" assinaláveis no registo do rebaixamento ao longo do tempo, permitindo utilizar o completo registo de níveis para o cálculo aqui exposto, a partir dos quais resulta o valor de transmissividade na ordem dos 494 m^2/dia (quadro 25).

O coeficiente de armazenamento toma o valor de 7,5E-3.

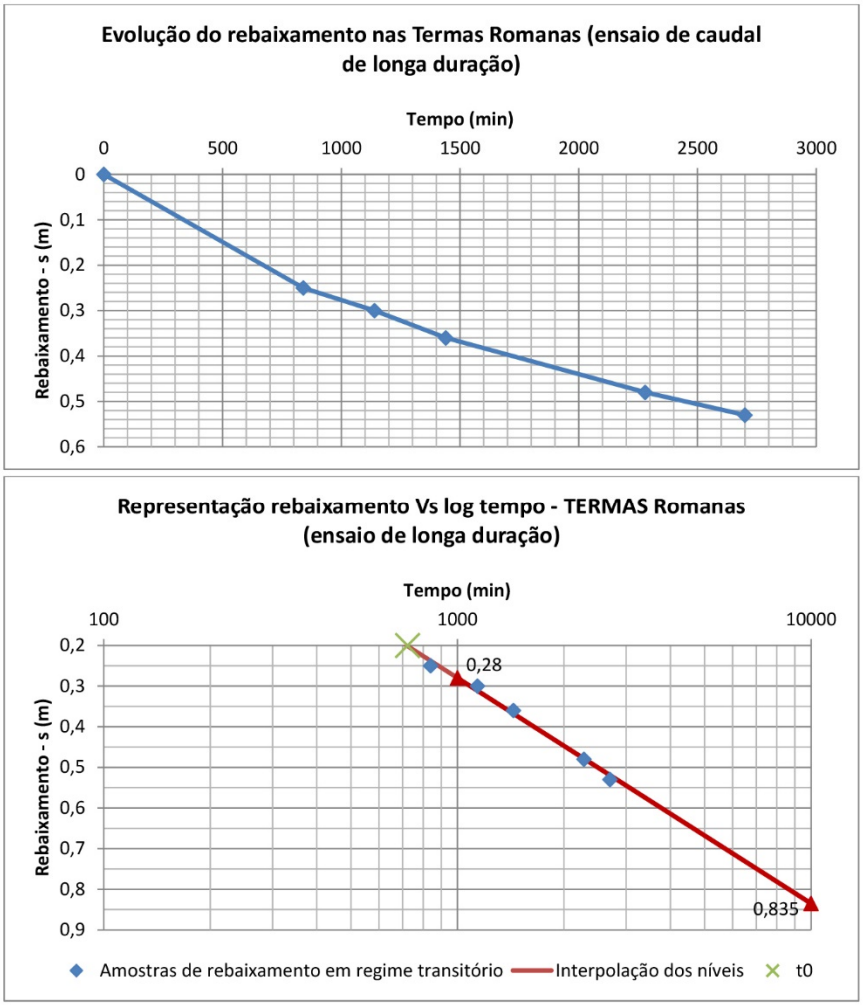


Figura 49. Evolução dos rebaixamentos registados nas Termas Romanas durante o ensaio de longa duração realizado em CC3.

Quadro 25. Cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos regionais (ensaios de longa duração).

Cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos regionais (ensaio de longa duração)						
Dados relativos ás Termas Romanas (Rebaixamentos verificados nas Termas Romanas durante a realização do enaio de caudal de longa duração em CC3)						
Inicio ensaio de lona duração		Data	Dia 12 de Junho de 2014			
		Hora	17:00 horas			
Distância de CC3 ás Termas Romanas - d			272,5 m			
NHE termas			0,4 m			
Dia	hora	Tempo (horas)	Tempo (min)	NHD (m)	Rebaixamento - s (m)	Caudal - Q (l/s)
12	17:00	0	0	0,4	0	0
13	07:00	14	840	0,65	0,25	15
	12:00	19	1140	0,7	0,3	15
	17:00	24	1440	0,76	0,36	15
14	07:00	38	2280	0,88	0,48	20
	13:00	45	2700	0,93	0,53	20
15	10:00	66	3960	0,64	0,24	0

Cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos				
Designação	Sigla	Fómula	Valor	Unidade
Caudal	Q	---	17,33	L/s
			1497,3	m^3/dia
Declive da recta de interpolação das amostras em	Δs	---	0,555	---
Intercepção da recta de interpolação das amostras com o eixo xx	t_0	---	722,5	min
			0,5	dias
Transmissividade (Cooper-Jacob)	T	0,183 x Q/Δs	494	m^2/dia
Coeficiente de armazenamento (Cooper-Jacob)	S	$(2,25 \times T \times t_0)/d^2$	7,51E-03	---

c) Síntese dos resultados

Por forma a possibilitar a análise global dos resultados obtidos para os parâmetros hidrodinâmicos calculados através dos diferentes métodos utilizados apresenta-se o quadro 26.

Quadro 26. Parâmetros hidrodinâmicos.

Parâmetros hidrodinâmicos						
Transmissividade e coeficiente de armazenamento						
Parâmetros hidrodinâmicos	Método de cálculo			Ensaio de caudal		Registo dos rebaixamentos
	Cooper-Jacob	Logan	Recuperação de Theis	Escalão	Tipologia	
Transmissividade (m^2/dia)	---	1054	---	2	Escalonado	CC3
		469		3		
		384		4		
	624	340	384	1	Longa duração	
	---	252		2		
	494	---	---	1 e 2		Termas Romanas
Coeficiente de armazenamento	7,50E-03	---	---	1 e 2		

Observando-se os valores de transmissividade calculados, apontam-se duas ordens de transmissividades características do aquífero mineral (quadro 27), a de primeira ordem, enquadrada no intervalo 469 a 624 m^2/dia, e a de segunda ordem, enquadrada no intervalo 252 a 384 m^2/dia, sendo o valor 384 m^2/dia, muito provavelmente, o que melhor traduz a transmissividade de segunda ordem, visto que resulta de diferentes ensaios de caudal e diferentes métodos de cálculo.

Quadro 27.Enquadramento dos valores de transmissividade.

Enquadramento dos valores de transmissividade				
Método	**Tranmissividade (m^2/dia)**	**Enquadramento**	**Registo dos rebaixamentos**	**Ensaio de caudal**
Cooper-jacob	494	Transmissividade de 1ª ordem	Termas Romanas	Longa duração (2 escalões)
	624		CC3	Longa duração - 1º escalão
Logan	1054			Escalonado - 2º escalão
	469			Escalonado - 3º escalão
	384	Transmissividade de 2ª ordem		Escalonado - 4º escalão
	340			Longa duração - 1º escalão
	252			Longa duração - 2º escalão
Recuperação de Theis	384			Longa duração - recuperação

Após algumas horas de ensaio extraindo caudais na ordem dos 15-20 l/s a transmissividade apresenta valores de segunda ordem, exceptuando o resultado obtido através dos registos relativos às Termas Romanas que, por não compreender registos no mesmo local relativamente aos restantes registos, deve ser analisado de forma particular.

É de realçar o facto de dois dos resultados calculados por diferentes métodos, Logan e recuperação de Theis, apresentarem o mesmo valor (384 m^2/dia), o que, embora provenientes de diferentes ensaios, com diferentes tempos de extracção, atribui consistência aos resultados.

Salienta-se ainda o resultado de transmissividade (494 m^2/dia) calculado através dos rebaixamentos verificados nas Termas Romanas, que funcionam como piezómetro (método ideal para aplicação dos métodos de cálculo), o que consente relativa representatividade em virtude da maior abrangência de aquífero. O respectivo valor (494 m^2/dia), por não se instalar na principal estrutura circulada na zona, a falha F1, onde CC3 capta, é relativamente elevado face ao expectável, o que poderá dever-se a afectação pela fracturação NNE (Carvalho, 1988) e porventura porque as Termas Romanas só captam praticamente uma descarga natural em rocha meteorizada e eventualmente aluvião e/ou poderá dever-se ainda a:

- Existência de uma ou várias fracturas subverticais importantes que promoverão conexão privilegiada entre as Termas Romanas e a falha F1, proporcionando um canal condutor com importantíssima ascensão a partir de F1;
- Existência de ligação directa entre as termas romanas e a falha F2 (que se supõe alimentar F1 e possivelmente aflorará próximo as termas romanas – figuras 55 e 58), ou indirecta, através de uma ou várias fracturas subverticais importantes que promoverão conexão privilegiada entre as Termas Romanas e a falha F2;
- Comunicação entre as Termas Romanas e simultaneamente F1 e F2 através de fracturas transversais a ambas as falhas (figura 55), como as indicadas pela bibliografia em Carvalho (1988);
- Conexão privilegiada com a falha F1, ou com a falha F2, ou até com ambas as falhas através de litologias extremamente fracturadas (do género da zona muito fracturada apresentada no perfil sísmico PSX-4 - anexo VIII) que permitirão um canal de condução de grande potencial e, consecutivamente, elevada transmissividade.

Embora algum dos itens apontados poderão constituir factores que originem a “elevada” transmissividade em discussão, convém referir desde já que constituem hipóteses meramente especulativas, sem base de suporte, solicitando investigações nesse âmbito.

Quanto ao coeficiente de armazenamento, este toma o valor de 7,5E-3. Através deste parâmetro é possível inferir o grau de confinamento do aquífero, remetendo o valor de calculado (7,5E-3) para a caracterização do aquífero como semi-confinado (característica associada a coeficientes de armazenamento na ordem de valores 1E-3 a 1E-4), o que não espanta, visto que embora o aquífero, na sua generalidade, se desenvolva a elevada profundidade e com provável elevado grau de confinamento, na zona de descarga, as principais armadilhas hidrogeológicas circuladas e captadas por CC3 apresentam conexão com outras armadilhas de menor importância com

descarga à superfície, e mesmo a principal estrutura circulada, a falha F1, realiza descarga à superfície ainda nos campos do Tabolado, promovendo a diminuição do confinamento face à generalidade do aquífero.

Quanto à solidez dos resultados relativos ao coeficiente de armazenamento, devido a apenas existir uma amostra de valores e dado que as características do aquífero não se enquadra nos pressupostos dos métodos de cálculo (homogeneidade, isotropia, desenvolvimento infinito, espessura constante, horizontalidade, etc.), é prematuro apontar conscientemente os valores aqui calculados como característicos do aquífero, sendo necessário para tal realizar o cálculo destes parâmetros por diferentes métodos e diferentes pontos de medição de rebaixamentos (por exemplo AC1 e AC2) para corroborar valores e assim obter confiança nos resultados.

Contudo, os valores calculados para o coeficiente de armazenamento enquadram-se no campo esperado para o aquífero, facto que, embora não seja justificação incontornável, constitui um indicador favorável.

12.7. Eficiência da captação CC3

Na presente investigação, a avaliação da eficiência da captação realizou-se através da averiguação da velocidade de entrada de água na captação, percentagem de perdas de carga laminares e relação entre a transmissividade teórica e prática.

a) Velocidade de entrada de água na captação

A velocidade de entrada de água na captação é um item de elevada importância. Segundo a bibliografia, para as condições do aquífero em estudo, velocidades de entrada na captação superiores a 3 cm/s promovem fluxo de entrada em regime turbulento, repercutindo-se em exageradas perdas de carga adicionais, pelo que se deve instaurar na construção da captação condições para que a entrada de água se dê a velocidades inferiores a 3 cm/s, promovendo o regime laminar e, consequentemente, diminuir ao máximo as perdas de carga adicionais impostas pela captação.

Nesses termos, procedeu-se à determinação da velocidade de entrada de água na captação para o caudal de 20 l/s (caudal máximo extraído nos ensaios de caudal realizados), resultando 0,7 cm/s (quadro 28), velocidade de entrada muito inferior ao limite preconizado para fluxo laminar (3 cm/s), pelo que os ralos constituintes de CC3 não motivarão perdas de carga exageradas por entrada de água na captação em regime turbulento, considerando-se a coluna de tubos ralo bem dimensionada.

Quadro 28. Velocidade de entrada de água em CC3.

Velocidade de entrada de água em CC3				
Designação	**Nomenclatura**	**Fórmula**	**Unidade**	**Valor**
Caudal de entrada (caudal máximo extraído nos ensaios de caudal)	Q	---	l/s	20
			cm3/s	20000
Percentagem de área aberta dos tubos ralo	%Aa	---	%	30%
Extensão de tubos ralo*	e	---	m	30
			cm	3000
Diâmetro dos tubos ralo	d	---	in	4
			cm	10,16
Perimetro dos tubos ralo	p	πd	cm	31,92
Área aberta dos tubos ralo	Aa	%Aa x p x e	cm2	28726,7
Velocidade de entrada de água nos tubos ralo	Ve	Q/Aa	cm/s	0,70

Notas: Segundo a bibliografia, para o aquífero em causa é admitida, em condições de afluxo laminar, a velocidade máxima de entrada de 3 cm/s.

* Embora a totalidade de tubos ralo instalados na captação compreenda 35 m de extensão, foi tomado para o cálculo apenas 30 m devido ao facto de o último tramo de ralos da captação não apresentar (aparentemente) afluxo de água á captação (Ver tópico "Inspecção vídeo").

b) Percentagem de perdas de carga laminares

Uma das formas comummente abordadas na bibliografia para averiguar as perdas de carga na captação desenvolve-se admitindo a equação característica s = BQ+CQn (quadro 29), a partir da qual se determina a percentagem de perdas de carga laminares pela relação entre os rebaixamentos inerentes às perdas de carga laminares (BQ), atribuídos ao aquífero, e os rebaixamentos relativos às perdas de carga totais (BQ+CQn), atribuídos ao conjunto aquífero/captação.

$$Lp = \frac{Perdas\ de\ carga\ em\ regime\ laminar\ (no\ aquífero)}{Perdas\ de\ carga\ totais\ (aquífero\ e\ captação)} = \frac{BQ}{BQ + CQ^n}$$

Geralmente, a captação é considerada eficiente quando as perdas de carga laminares (Lp) superam o valor de 80% e o factor exponencial (n) mantem-se inferior ao valor 2. Para percentagens de perda de carga inferiores a 80 % é considerada turbulência exagerada no afluxo da água desde o aquífero até à bomba de extracção, e quanto menor for o valor do factor exponencial (n) mais linear é o fluxo da água nas proximidades da captação (considera-se que o fluxo é laminar quando 1 < n < 2, se n > 2, o fluxo é considerado turbulento).

Segundo estes pressupostos, verificar-se-á se o desenvolvimento foi ou não bem efectuado e se a captação foi ou não bem dimensionada.

Segundo os cálculos expostos no quadro 29, este método traduz percentagens de perda de carga laminares inferiores a 37% e factor exponencial na ordem de 2, remetendo elevados rebaixamentos por perdas de carga (figura 50) e indiciando reduzida eficiência da captação.

Porém, dados os reduzidos rebaixamentos verificados durante o decurso dos ensaios de caudal (rebaixamento máximo de 8,35 m para extracção de 20 l/s) e a reduzida velocidade de entrada de água na captação (0,7 cm/s), não se antevêem percentagens de perda de carga laminares tão reduzidas, pelo que o método, muito provavelmente, não traduzirá convenientemente as reais condições de fluxo de água desde o aquífero até á bomba de extracção.

De facto, um dos aspectos limitadores apontados pela bibliografia ao método em causa prende-se à circunstância de este atribuir à captação todas as perdas de carga associadas ao fluxo em regime turbulento, situação irreal, pois “todos” os aquíferos apresentam mais ou menos perdas por regime turbulento na formação geológica e, no caso do aquífero mineral de Chaves, por ser considerado muito heterogéneo, é provável que existam elevadas perdas de carga originadas pela circulação de água em regime turbulento no próprio aquífero, deturpando largamente os

resultados deste método de cálculo, pelo que, neste caso particular, não se deve extrapolar os resultados obtidos pelo método em causa.

Quadro 29. Percentagem de perdas laminares admitindo-se a equação característica da captação: s = BQ+CQn.

Percentagem de perdas laminares admitindo-se a equação caracteristica da captação: s = BQ + CQ^n							
Designação	**Nomenclatura**	**Fómula**	**Unidade**	**Escalão - ensaio de caudal escalonado**			
				1	**2**	**3**	**4**
Caudal extracção	Q	---	l/s	2,5	5	10	15
Rebaixamento	s	---	m	0	0,5	2,25	4,12
Rebaixamento específico	s/Q	---	m/L/s	0,0	0,100	0,225	0,275
Caudal específico	Q/s	Q/s	l/s/m	---	10,00	4,44	3,64
Coeficiente de perda de carga no aquífero	B	Intercepção da recta c/ yy (gráf. s/Q = f(Q))	---	0,0252			
Coeficiente de perda de carga na captação	C	Declive da recta (gráf. s/Q = f(Q))	---	0,0175			
Rebaixamento devido às perdas no aquífero	BQ	BQ	m	0,06	0,13	0,25	0,38
Factor exponencial (varia de 1 a 3,5)	n	log Q ((s - BQ) /C)	---	---	1,90	2,06	1,98
Sobre-rebaixamento devido perdas de carga no furo	CQ^n	CQ^n	m	---	0,374	1,998	3,742
Perdas de cargas laminares	Lp	BQ / (BQ + CQ^n)	%	---	25,2	11,2	9,2
Rebaixamento total calculado (confirmação do cálculo)	s (calc)	BQ + CQ^n	m	---	0,50	2,25	4,12
Perdas de carga laminares (para n=2)	Lp (n=2)	BQ / (BQ + CQ^2)	%	36,5	22,4	12,6	8,8
Sobre-rebaixamento devido a perdas de carga no furo (para n=2)	CQ^2	CQ^2	m	0,11	0,44	1,75	3,94
Rebaixamento total calculado (para n =2)	s (calc.2)	BQ + CQ^2	m	0,17	0,56	2,00	4,32

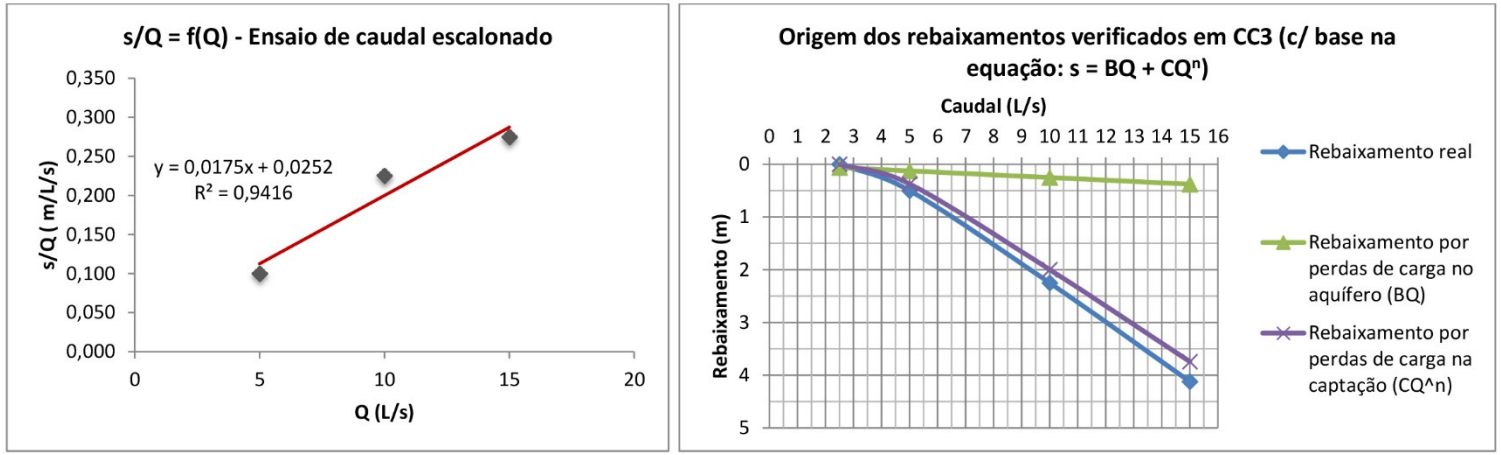


Figura 50. À esquerda, representação gráfica caudal/rebaixamento específico para os diferentes escalões do ensaio de caudal de curta duração. À direita, representação da evolução dos rebaixamentos motivados por perdas de carga na captação e aquífero, segundo a equação: $s=BQ+CQ^n$.

c) *Relação entre a transmissividade teórica e prática*

A relação entre a transmissividade teórica e prática constitui um método que permite o apuramento da eficiência da captação de forma concisa e relativamente fiável, sendo no entanto um método que necessita de valores de transmissividade comparáveis no espaço (mesmo local de medição de níveis), tempo e caudais (mesmo escalão do ensaio de caudal) para obtenção de resultados confiáveis.

Posto isto, e face à limitação de registos de níveis utilizáveis para a aplicação de variados métodos de cálculo da transmissividade, apenas se dispõe no presente documento um par de valores de transmissividades (teórica e prática) enquadrado nos pressupostos mencionados para a aplicação adequada do método (quadro 30), constituindo-se o referido par pelo resultado do método de recuperação de Theis (transmissividade teórica), aplicado sobre os registos dos níveis de recuperação após o ensaio de caudal de longa duração, e pelo resultado do método de Logan (transmissividade prática, visto que deriva do caudal específico), aplicado sobre o primeiro patamar do ensaio de caudal de longa duração, com extracção de 15 L/s.

Quanto ao pressuposto do método que impele pares de valores comparáveis no espaço não há qualquer contradição em causa, já que ambos os valores do par de transmissividades escolhidos resultam de registos de níveis na captação CC3. Já relativamente à comparação dos valores seleccionados em termos de tempo e caudal, o facto do par de valores resultar de diferentes etapas do ensaio de caudal de longa duração (primeiro escalão de extracção e etapa de recuperação) pode confundir o leitor menos atento, apelando-se portanto a que se atente ao desenvolvimento do método de recuperação de Theis relativo à recuperação após o ensaio de longa duração apresentado anteriormente neste documento (tópico: 12.6.1 Avaliação dos parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral de Chaves, método de recuperação de Theis - ensaio de caudal de longa duração), aí pode-se observar (através da recta de interpolação) que os registos de níveis utilizados para o cálculo do valor de transmissividade teórica seleccionado correspondem aos primeiros tempos de descida do ensaio de longa duração (primeiro patamar de extracção), providenciando assim termo de comparação também a nível de caudais e tempos com o valor de transmissividade teórica obtido pelo método de Logan a partir do primeiro patamar de extracção do ensaio de longa duração.

Em função das decisões tomadas e justificadas neste item, que culminam resumidamente no quadro 30, estipula-se a eficiência da captação na ordem dos 88,5%, caracterizando-se CC3 como muito eficiente, traduzindo o êxito do projecto e construção da estrutura.

Quadro 30. Cálculo da eficiência da captação CC3 – relação entre transmissividades.

Cálculo da eficiência da captação CC3 - Relação entre Transmissividades			
Pares de valores de transmissividade a relacionar			
---		Transmissividade teórica - T (teo)	Transmissividade prática - T (prát.)
Proveniêcia do par de valores	Ensaio de caudal	Longa duração	Longa duração
	Etapa do ensaio de caudal	Recuperação final	1º escalão de extracção (15 L/s)
	Método de cálculo	Recuperação de Theis	Logan
Valor (m2/dia)		384	340
Cálculo da êficiência da captação			
Designação	Nomenclatura	Fórmula	Valor
Eficiência	e	T (prát.) / T (teo) x 100	85,5%

12.8. Inspecção vídeo

A inspecção vídeo constitui uma ferramenta de elevada utilidade para avaliar a construção e estado de conservação de obras de captação do tipo furo.

Para o objecto de estudo serão analisadas as filmagens realizadas no âmbito da inspecção vídeo a CC3, não do ponto de vista inspectivo da estrutura de captação mas num âmbito hidrodinâmico, pretendendo-se confirmar o afluxo de água nos vários tramos de tubos ralo e verificar possíveis focos de entrada indevida de água na captação.

A análise do afluxo de água á captação, através de indícios como a presença de finos alojados nos tubos ralo ou a turvação da coluna de água, pode providenciar indicações para a elaboração do modelo de circulação e indiciar factores que resultem em perdas de carga que condicionarão a eficiência da obra. Já possíveis focos de entrada indevida de água na captação podem acarretar interferências no cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos, inicialmente considerados exclusivamente característicos do aquífero mineral.

Com base nas filmagens resultantes da inspecção a CC3 construi-se o quadro "inspecção vídeo à captação CC3" (quadro 2 - anexo XII), partir da qual se apontam algumas observações que em seguida se enumeram no quadro 31.

Quadro 31. Observações resultantes da análise da inspecção vídeo a CC3.

Observações resultantes da análise da inspecção vídeo a CC3	
Análise geral	
• A estrutura da captação encontra-se conforme, não se verificando danos nas tubagens e soldaduras ou entrada indevida de água, sendo os tubos ralo as únicos elementos que providenciam afluxo de água á captação. Desta forma pode-se apontar que os parâmetros hidrodinâmicos calculados definirão convenientemente o aquífero em estudo, pois apenas é captado o aquífero hidrotermal, não ocorrendo interferência de níveis circulados indesejados; • A coluna de água presente no interior da captação não apresenta turvação, sendo a presença de partículas em suspensão desprezável; • Na filmagem com deslocação da sonda em sentido descendente verifica-se, sempre que se interrompe a deslocação, que uma pequena e pouco densa nuvem de finos envolve a objectiva. Já na filmagem com deslocação da sonda em sentido ascendente, a presença da referida nuvem é permanente. Tais factos indiciam a presença de detritos acumulados nas paredes da coluna, sendo estes colocados em suspensão pelo contacto da sonda com a coluna da captação e pela agitação provocada na água aquando da sua movimentação. Contudo, face á dimensão e densidade da nuvem e ao facto de não se conseguir visualizar finos adesivos á coluna, a acumulação de finos na parede dos tubos cegos apresentar-se-á em proporções insignificantes; • O número de partículas encravadas nos slots dos tubos ralo é muito reduzido, considerando-se irrelevante; • Os tramos de tubos ralo, mesmo os mais limpos, apresentam tonalidade amarelada, sendo o tom da coloração semelhante ao visível em ralos onde se visualiza nítida presença de finos alojados. O facto indiciará pequena quantidade de finos alojados nos slots, mas não se descarta a possibilidade da tonalidade resultar de sombreamento provocado pela inclinação da sonda de filmagem.	
Análise dos tramos de ralos	
Tramo 1	No percurso realizado pela sonda ao longo do 1º tramo de ralos em sentido descendente, verifica-se considerável quantidade de finos alojados abaixo do topo do tramo por uma extensão de aproximadamente 4m (118-122m), o que sugere reduzido afluxo de água á captação nesta extensão, concentrando-se a entrada de água, relativamente a este tramo, entre os 122-128m de profundidade, segmento onde os ralos se apresentam limpos. Já durante a filmagem em movimento ascendente, verifica-se turvação, agravando-se á medida que a sonda ascende no tramo, e a nuvem de turvação apenas se dissipa a cerca de 2 m do topo do tramo.
Tramo 2	A inspecção relativa ao segundo tramo de ralos, tanto na filmagem em movimentos descendente como ascendente, não evidenciou materiais em suspensão, e quando surgia alguma turvação motivada pelo deslocamento da sonda, a nuvem esvanecia-se rapidamente, o que indicia considerável circulação natural.
Tramo 3	No terceiro tramo de ralos, embora a filmagem em sentido descendente não evidencie materiais em suspensão, na filmagem em sentido ascendente verifica-se uma densa nuvem de finos entre os 157-160m, a qual se perde completamente de visão apenas acima dos 155m (nível da junção entre os dois tubos ralo que compõem o tramo), profundidade a partir da qual é já diminuta a matéria em suspensão e a turvação provocada pelo movimento da sonda se esvanece rapidamente, sendo que á medida que a sonda se aproxima do topo deste tramo de ralos, maior é a visibilidade e mais rapidamente se dissipa a turvação provocada pelo movimento ascendente da sonda. Posto isto, sob o ponto de vista hidrodinâmico, o 3º tramo de ralos pode ser dividido em dois segmentos, um dos 155 aos 160 m, onde ocorre pouco ou nenhum fluxo de água á captação, e outro dos 150 aos 155 m, onde o afluxo de água será elevado.
Tramo 4	O 4º tramo de ralos apresenta elevada quantidade de finos alojados ao longo de toda a sua extensão. Sempre que o movimento da sonda é suspenso durante a filmagem em sentido descendente, a objectiva é envolvida numa densa nuvem de finos e, durante a filmagem em sentido ascendente, a referida nuvem envolve constantemente a objectiva, não ocorrendo qualquer atenuação da mesma. A análise dos factos apontam o 4º tramo de ralos como um segmento com reduzidíssimo ou nulo afluxo de água para a captação.
Nota:	As profundidades enunciadas referem-se aos registos na imagem vídeo (que possuem erro associado) e não ás reais profundidades de instalação dos tramos de tubos ralo.

Comparando os tramos de ralos constituintes da captação pela forma rápida como as nuvens de finos originadas pelo movimento da sonda se dissipam, é legítimo apontar considerável circulação natural nos 2º e 3º tramos de ralos, sendo provável que o 2º tramo e o segmento definido entre os 150-155 m de profundidade (profundidade indicada na filmagem em sentido ascendente) do 3º tramo constituam as principais portas de afluxo de água mineral á captação. Por oposto, o 4º tramo e o segmento entre os 155-160 m (profundidade indicada na filmagem em sentido ascendente) correspondente ao 3º tramo, provavelmente constituirão segmentos com muito pouco ou nenhum afluxo.

O 1º tramo de ralos constituirá uma situação intermédia, em que ocorrerá afluxo de água à captação essencialmente em parte da sua extensão, num segmento entre os 122-128 m (profundidade identificada na filmagem em sentido descendente) e noutro correspondente a cerca de 2 m de extensão abaixo do topo do tramo, mas em proporções muito menores face ao 2º tramo e ao segmento do 3º tramo compreendido entre os 150-155 m (profundidade indicada na filmagem em sentido ascendente), onde a turvação proporcionada pelo movimento ascendente da sonda é reduzida e esvanece-se rapidamente;

Dada a acumulação de finos nas paredes do segmento mais profundo da captação depreende-se que o 4º tramo de ralos não compreenda considerável afluxo de água à captação. Na inspecção vídeo em sentido ascendente, iniciada a partir da base da coluna de revestimento, a objectiva manteve-se permanentemente envolvida numa densa nuvem de finos até aos 157m m (profundidade indicada na filmagem em sentido ascendente), profundidade a partir da qual ocorre a atenuação da nuvem de finos e adquire-se capacidade de visão, o que indiciará que este será o nível circulado mais profundo, acima do qual a circulação natural dissipa a nuvem de finos causada pela agitação resultante do movimento ascendente da sonda.

Até ao momento, para localizar as observações resultantes da análise da endoscopia, foram indicadas as profundidades apresentadas nas imagens vídeo. Porém, devido a perturbações na sonda associadas à elevada temperatura da água, as profundidades indicadas no vídeo da inspecção não correspondem á realidade, pelo que a real profundidade dos elementos inscreve-se segundo o designado na coluna “profundidade real” inserida no quadro 1- anexo XII.

Analisando o quadro 32, o qual estabelece a localização em profundidade dos elementos constituintes da coluna de revestimento definitiva e a respectiva comparação com o projecto de construção preconizado e com os níveis circulados identificados pelos parâmetros de perfuração e diagrafias, é possível estabelecer vários pressupostos.

Sob o ponto de vista geral, é notório que a instalação da coluna definitiva encontra-se desfasada cerca de 30 cm em sentido ascendente relativamente ao estipulado pelo projecto da captação. Já analisando os vários tramos de ralos, tendo em conta que normalmente os tubos ralo sem afluxo de água preconizam dificuldades de limpeza e desenvolvimento, permanecendo insistentemente detritos em ralos não circulados, é possível averiguar o afluxo de água à captação proveniente dos níveis circulados inicialmente pressupostos, apontando-se várias considerações adicionais relativas aos tramos de tubos ralo que compõem a coluna de captação:

Tramo 1 (119,7-129,7 m de profundidade)

O tramo 1 enquadra-se no nível circulado localizado entre 122,1-129,1 m. A presença de finos no tubo ralo superior (119,7-124,7 m) provavelmente estará relacionada com o espaçamento (3,1 m) entre as duas fracturas superiores identificadas (meios de circulação) e com reduzido caudal a atravessar os ralos (situação que não facilita a limpeza e desenvolvimento dos ralos).

A nuvem de turvação provocada pelo movimento da sonda em sentido ascendente ao longo do tramo, que apenas se dissipa a cerca de 2 m do topo do tramo, indicia lenta circulação nas fracturas correspondentes a este nível circulado, resultando na dissipação muito mais lenta da nuvem de finos originada pelo deslocamento da sonda relativamente aos tramos 2 e 3, onde a nuvem de finos resultante do movimento da sonda dissipa-se rapidamente.

Em virtude de se verificar a dissipação da nuvem de finos de forma mais célere no segmento com cerca de 2 m localizado imediatamente abaixo do topo do tramo, aponta-se a fractura 122,1-122,7 m como a principal condutora de afluxo à captação para tramo de ralos em análise.

Tramo 2 (141,7-151,7 m de profundidade)

A análise realizada a este tramo apontou irrelevante presença de finos nos slots e muito rápida dissipação da nuvem de finos provocada pelo movimento ascendente da sonda, factos que vão de encontro aos elevados caudais apontados pelos parâmetros de perfuração à falha F1 (fractura 150,1-151,9 m), armadilha que se instala quase coincidentemente com a base deste tramo de ralos e que, devido á elevada circulação natural a ela associada, promoverá a dissipação quase imediata na nuvem de finos levantada pela sonda.

Dada a rápida dissipação da nuvem de finos ao longo de todo o tramo, é muito provável que ocorra circulação considerável também nas fracturas 144,8-145 m e 146,8-147 m, fracturas muito próximas a F1 e previsivelmente a ela conectadas.

Tramo 3 (157,7-167,7 m de profundidade)

O facto de na filmagem com deslocação ascendente da sonda apenas se obter visão acima da metade da extensão do tramo (a cerca de 162,7 m), ponto acima do qual a nuvem de turvação imposta pelo movimento ascendente da sonda desvanece-se muito rapidamente, conjectura a fractura 162,1-161,7 como o meio circulado mais profundo inscrito no tramo 3, o qual, pela rápida dissipação da turvação imposta pela sonda, compreenderá circulação natural considerável.

Tramo 4 (173,7-178,7 m de profundidade)

A elevada (até exagerada) presença de finos alojados nos slots do tramo 4 - apenas apresenta alguma limpeza por cerca de 20 cm abaixo do topo do tramo, poderá dever-se ao desenquadramento dos tubos ralo com as fracturas supostamente circuladas que, devido à não ocorrência de afluxo natural através dos ralos devido ao referido desenquadramento, dificulta, neste tramo, o desenvolvimento e limpeza (induzido) e impossibilita a limpeza natural que seria realizada pela natural circulação do afluxo associado às fracturas através dos slots.

Embora a relativa limpeza nos primeiros 20 cm do tramo se encontre em consonância com a tese de desenquadramento dos ralos com os níveis circulados, visto que os parâmetros de perfuração indicam o afluxo de águas provavelmente correspondente à fractura 171,2-172, instalada a cerca de 1,3 m acima do tramo de ralos, as observações relativas á secção mais profunda do tramo pressupõe a ausência de circulação de fluidos nas fracturas 178,4-179,4 m e 179,9-181,2 m, pois, caso contrário, teria de se verificar melhores condições de limpeza pelo menos na base do tramo, onde este coincide com uma dessas fracturas por cerca de 30 cm a partir da sua base. Além do mencionado, durante os trabalhos de limpeza e desenvolvimento da captação extraíram-se elevados caudais (300 m3/h), o que, caso as fracturas fossem circuladas, obrigaria a água aí circulante a ascender pelo espaço anelar (preenchido pelo filtro de seixo) desde as fracturas até aos ralos e, consecutivamente, a entrar na captação para contrariar o desequilíbrio imposto pela elevada extracção, promovendo a sua limpeza (ou pelo menos alguma limpeza). Contudo, face à elevada presença de finos nos slots dos ralos, tal não terá sucedido, pelo que se aponta ausência de circulação nas fracturas instaladas a 178,4-179,4 m e 179,9-181,2 m de profundidade.

Quadro 32.Correspondência entre níveis circulados e tramos de tubos ralo (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014).

Correspondência entre niveis circulados e tramos de tubos ralo

Elementos constituintes da coluna de revestimento definitiva de CC3				Níveis circulados inferidos através das diagrafias							Níveis circulados identificados através do controlo hidrogeológico	
				Descontinuidades				Níveis circulados				
				Profundidade		Espessura da fractura (m)	Objecto	Profundidade		Afluxo de água á captação (%)		
Tubo	Estrutura	Profundidade real (estimada)		Tecto (m)	Base (m)			Tecto (m)	Base (m)		Níveis aquíferos atravessados (m)	Caudal por nível circulado (l/s)
		Topo (m)	Base (m)									
1	Câmara de bombagem (tubos cegos)	(+) 0,8	(+)0,3									
2		(+)0,3	5,7									
3		5,7	11,7									
4		11,7	17,7									
5		17,7	23,7									
6		23,7	29,7									
7		29,7	35,7									
8		35,7	41,7	---	---	---	---	---	---	---	38	5,5
9		41,7	47,7									
10	Tubos cegos	47,7	53,7	51,7	54	2,3	Fractura	52,2	53,6	42	60	9,5
11		53,7	59,7	55,2	56,7	1,5	Fractura	53,6	62,8	10		
12		59,7	65,7									
13		65,7	71,7									
14		71,7	77,7									
15		77,7	83,7									
16		83,7	89,7									
17		89,7	95,7	90,1	90,7	0,6	Fractura	89	90,3	7	---	---
18		95,7	101,7									
19		101,7	107,7									
20		107,7	113,7									
21		113,7	119,7									
22	Tubos ralo	119,7	124,7	122,1	122,7	0,6	Fractura	122,1	129,1	7	130	3
23		124,7	129,7	125,8	126,5	0,7	Fractura					
				127,8	128,6	0,8	Fractura					
24	Tubos cegos	129,7	135,7									
25		135,7	141,7									
26	Tubos ralo	141,7	146,7	144,8	145,4	0,6	Fractura					
27		146,7	151,7	146,8	147,2	0,4	Fractura					
				150,1	151,9	1,8	Fractura	---	---	---	152	49
28	Tubo cegos	151,7	157,7									
29	Tubos ralo	157,7	162,7	162,1	162,7	0,6	Fractura	160,8	161,7	7	---	---
30		162,7	167,7									
31	Tubo cegos	167,7	173,7	171,2	172	0,8	Fractura	---	---	---	174	13
32	Tubo ralo	173,7	178,7	178,4	179,4	1	Fractura	---	---	---	180	14
33	Tubo cegos	178,7	184,7	179,9	181,2	1,3	Fractura	---	---	---		

Legenda:		
		Tubos ralo
		Niveis circulados total ou parcialmente enquadrados com tubos ralo.

Notas: Os niveis circulados identificados através do controlo hidrogeológico dispõe-se na tabela alinhados com as fracturas ás quais se supõe corresponder.

12.9. Integração da informação

O confronto entre o log de sondagem reconstituído (figura 53), os resultados da campanha de geofísica (figuras 41), o controlo hidrogeológico e as diagrafias diferidas (figura 53), permitem identificar importantes correspondências e associações entre as litologias atravessadas e a hidráulica subterrânea local (quadro 33), as quais se apontam em seguida segundo o respectivo agrupamento nas diferentes litologias identificadas em CC3 (figuras 51 e 52; para melhor compreensão do exposto em seguida aconselha-se a consulta da figura 54).

Aluviões

AS aluviões, litologia mais superficial, desenvolvem-se até aos 12m de profundidade. Correspondem aos horizontes definidos nos perfis sísmicos com velocidade de refracção sísmica até 1000m/s e a valores compreendidos entre 40 a 80 Ohm.m nos perfis de tomografia eléctrica.

Pela observação do controlo hidrogeológico, esta litologia compreende reduzida circulação de água subterrânea, constituindo-se essencialmente por caudais irrelevantes de águas frias e pouco mineralizadas - águas "normais", embora ocorra presença de um nível circulado (2,3m) com águas de elevada temperatura (48 °C) entalhado entre níveis circulados com águas normais e distando de um deles apenas cerca de 40 cm, remetendo fluxo de águas quentes em quantidades muito reduzidas através de possíveis fracturas vestigiais e/ou pequenos horizontes diferenciados no seio das aluviões.

Filitos decompostos

Correspondem aos horizontes definidos nos perfis sísmicos com velocidade de refracção sísmica compreendida entre 1000-2500 m/s e valores de 50-60 Ohm.m na tomografia eléctrica.

A nível hidráulico não é apontada circulação a considerar, e o escasso afluxo aqui verificado constitui-se por águas normais, á imagem do ocorrido nas aluviões.

Embora a formação apresente decomposição considerável, os materiais revelam alguma coerência, visto que foi possível prosseguir com a perfuração até aos 48m, atravessando toda a formação subsequente (filitos alterados e muito fracturados) onde se verificam caudais de 5,5 l/s (caudais que causariam o colapso de formações incoerentes durante a ascensão do fluido de circulação) sem a necessidade de aplicação imediata de tubagens de revestimento para suster as paredes da captação compostas por filitos decompostos.

Filitos alterados com apófises graníticas, muito fracturados

Correspondentes ao horizonte definido a cor-de-laranja nos perfis sísmicos, estes filitos muito fracturados, que compreendem apófises graníticas e filonetes de quartzo, não apresentaram dificuldades à perfuração com martelo-fundo-furo, nem a necessidade de instalação imediata de tubagens de revestimento devido a dificuldades de avanço causadas por instabilidade ou colapso eminente das paredes da sondagem, pelo que a formação, embora algo instável, comportará relativa coerência.

Hidrogeologicamente, a litologia compreende o primeiro nível circulado (38 m) atravessado pela sondagem com afluxo (5,5 l/s) e temperatura (46 °C) consideráveis, apresentando provável circulação de águas de mistura compostas por grande porção de águas minerais (provenientes do afluxo ascendente de horizontes subsequentes) misturadas com águas normais superficiais (decorrentes da infiltração superficial com fluxo descendente), segundo a temperatura (46 °C) e a condutividade (2547 Ohm) apresentadas pelo controlo hidrogeológico, depreendendo-se tratar

da interface de transição entre as águas normais verificadas nas litologias a montante e as águas do tipo Chaves presentes nos níveis circulados a jusante.

Dada a variação abrupta dos parâmetros físico-químicos (condutividade e temperatura) medidos durante a perfuração entre esta litologia e as litologias que a envolvem, é de considerar que as águas que acedem aos filitos muito fracturados circularão sub-horizontalmente pela vasta rede de fracturas associada à litologia, ao contrário do verificado em todas as restantes litologias atravessadas pela sondagem, onde a evolução progressiva dos parâmetros físico-químicos indiciam circulação vertical.

Filão de quartzo

Identificado na reconstituição do log de sondagem, esta estrutura localiza-se na interface entre os filitos alterados muito fracturados e os filitos sãos a pouco alterados, estendendo-se por cerca de 6m de sondagem, o que é considerável.

Através da transposição de CC3 para o perfil sísmico PSX-5 identifica-se a correspondência da estrutura em análise com uma importante fractura sub-vertical, assim, a presença do filão por uma extensão de 6m de sondagem é justificada pela geometria de intercepção do mesmo com CC3. A constatação remete para a associação de preenchimento quartzoso às importantes fracturas sub-verticais definidas na zona de descarga.

No segmento da sondagem correspondente ao filão, o controlo hidrogeológico não aponta acréscimo de afluxo de água à captação nem variações de temperatura ou condutividade face aos níveis circulados anteriormente atravessados, indicando tratar-se de uma estrutura geológica não transmissiva. Contudo, a análise do respectivo cutting e das diagrafias diferidas impelem o conceito da estrutura compreender considerável afluxo de água com parâmetros enquadrados nas águas do tipo Chaves. Recorde-se que a elevada dimensão dos fragmentos do cutting indiciam tratar-se de um meio muito fracturado, e a ausência de finos na amostra (algo que não ocorreu até à profundidade deste nível) indica afluxo de água, promovendo a “lavagem” do cutting pelo fluido de perfuração.

Ainda, em consonância com o mencionado, imediatamente abaixo da base de instalação do tubo de revestimento (47,7m), no intervalo 47,7-47,8 m de profundidade, as diagrafias realizadas transmitem aumento de afluxo à captação (14 %) e ligeiro aumento da temperatura e da condutividade em regime dinâmico face aos níveis envolventes. Ora, uma vez que a base do tubo de revestimento encontra-se instalado ligeiramente acima da base do filão e não é identificada nenhuma fractura próxima, é provável que as variações identificadas nas diagrafias resultem do afluxo de água proveniente do filão, pois o tubo de revestimento, embora instalado ao longo de praticamente todo o filão, como à data das diagrafias ainda não estava selado, não providenciaria o isolamento adequado, permitindo o afluxo das águas circulantes no filão para captação por forma a compensar o rebaixamento imposto em regime dinâmico.

A nível térmico, a temperatura das águas supostamente daí provenientes superam os valores de F1, verificando-se mesmo a mais elevada temperatura em toda a sondagem, facto estranho, dado que F1 será a estrutura que alimenta o referido filão e, por isso, não deveria ultrapassar os valores de temperatura referentes a F1.

A justificação para a evidência poderá relacionar-se com o facto de as águas circulantes na falha F1, estrutura que alimenta o filão, compreenderem ligeira variação térmica entre diferentes locais de circulação no seio de F1 (veja-se o facto de CC3 captar em F1 água a 74,5 °C e AC2 captar na mesma estrutura água a 77 °C), pelo que o filão de quartzo, ao incluir-se nas estruturas subverticais apontadas nos perfis sísmicos, e que interceptam a falha F1 transversalmente, contactará com as mais quentes águas circulantes em F1, ascendendo estas, posteriormente, por convecção, para as zonas subsuperficiais do filão mais facilmente que as águas menos quentes

circulantes em F1 (devido à menor densidade associada às águas mais quentes), acabando por surgir em CC3 com maior temperatura no filão que em F1, visto que a sondagem cortará F1 num local que não comtempla as mais quentes águas circulantes nessa estrutura, e o filão, por ter sido interceptado pela sondagem apenas a cerca de 45 m de profundidade (profundidade algo subsuperficial face a F1), apresentará aí das mais quentes águas circulantes em F1, que, por convecção, migraram para este segmento subsuperficial do filão desde as zonas de F1 onde circulam as mais quentes águas em ascensão (zonas com a qual o filão contactará).

A estrutura em análise – filão de quartzo, constitui a primeira armadilha interceptada pela sondagem com circulação considerável de água tipo chaves e integrará uma estrutura de extrema importância na ascensão de água termal aos níveis sub-superficiais, depreendendo-se representativa das estruturas sub-verticais assinaladas nos perfis geofísicos com conexão a F1, as quais, tal como esta, constituirão meios de ascensão de água mineral de F1 para níveis mais superficiais.

Filitos sãos a pouco alterados

Constituem a litologia com maior presença na sondagem, desenvolvendo-se consecutivamente por uma extensão de cerca de 80m da mesma.

A previsível maior ou menor proximidade da sondagem à armadilha sub-vertical circulada correspondente ao filão de quartzo mencionado anteriormente promoverá a variação do grau de alteração entre são e pouco alterado por influência da presença de água na formação, que fluirá do filão para a estes filitos através das várias fracturas identificadas (nas diagrafias), possivelmente conectadas àquela estrutura sub-vertical.

Ao nível da fracturação, a formação pode ser subdividida em dois segmentos, um inscrito entre 48-63 m de profundidade, com fracturas relativamente próximas e que interceptam a sondagem por mais de 1m, chegando a alcançar 2,3m, e outro inscrito entre 63-132m de profundidade, onde as várias fracturas presentes distam entre 5 e 10m e interceptam a sondagem por cerca de 0,5 a 0,7 m.

Apesar da regularidade da fracturação e da considerável extensão de intercepção das mesmas com a captação, a perfuração desenvolveu-se a bom ritmo (rondou os 50 m/dia), apontando elevada coerência á formação.

A circulação hidráulica na formação apresenta variações com a influência da fracturação, em consonância com os segmentos definidos segundo a fracturação.

O segmento da sondagem relativa aos 46-63m de profundidade, associado a fracturas relativamente espessas, abarca o maior afluxo verificado na litologia, sendo mesmo as temperaturas registadas na correspondência com a fractura inscrita aos 51,7-54m (fractura mais espessa identificada – 2,3m) mais elevadas que as verificadas em F1. Tal resultará da elevada espessura, conectividade e proximidade das fracturas ao filão de quartzo sub-vertical, características que em conjunto facilitarão a afluxo de fluidos do filão para a referida fractura e posteriormente daí para a captação.

O segmento 93-138m, onde a litologia descreve fracturas mais esparsas e de menor espessura, não apresenta dados de destaque. Com dois níveis circulados, um correspondente a uma fractura localizada aos 90m e outro enquadrado num conjunto de três fracturas instaladas entre os 122,1-128,6m, o segmento compreende, relativamente ao tramo 48-63m, menor interesse tanto a nível de caudais circulantes como a nível térmico, embora conste uma ligeira evolução crescente da temperatura à medida que se avança em profundidade.

Filitos sãos a pouco alterados com intercalações de quartzo

A nível geológico, esta litologia segue a caracterização da descrita anteriormente, destacando-se apenas presença de filonetes de quartzo submetidos a assinaláveis tensões de compressão derivadas do movimento inverso da falha compressiva F1 com a qual a litologia contacta.

Dado que o segmento da sondagem correspondente à denominada litologia apresenta filonetes de quartzo, que constituem indícios de estruturas conectadas com os materiais quartzosos instalados nas estruturas subverticais com circulação ascendente de fluidos e/ou conectadas com os materiais quartzosos instalados na principal estrutura condutora (F1), e dado que as diagrafias identificam duas fracturas inscritas entre 144,8-147,2 m, muito próximo a F1 (150 m), é dedutível que estas estruturas compreendam circulação de fluidos.

Estranhamente, não se verificaram acréscimos de caudais no controlo hidrogeológico nem nas diagrafias para os níveis correspondentes às fracturas, porém, o ligeiro acréscimo do gradiente geotérmico medido pelas diagrafias em regime dinâmico à medida que se avança em profundidade neste nível e as deduções inferidas através da inspecção vídeo ao tramo de ralos que captam as fracturas estabelecem possível circulação nas mesmas.

Filitos quartzíticos

O material geológico constituinte desta formação elucida elevada fracturação e compressão, em conformidade com as características previstas para a falha inversa F1 identificada pela campanha geofísica.

A circulação de fluidos geotérmicos aqui é elevada, constituindo, aos 152m de profundidade, de acordo com o controlo hidrogeológico, o principal ponto de afluxo (49 l/s) de água à captação, compreendendo concomitantemente o valor máximo de temperatura (74 °C). Em conformidade, as diagrafias diferidas indicam a presença de uma fractura à profundidade 105,1-151,9 m, interceptando a sondagem por 1,8m de extensão, onde, embora não reconheçam afluxo de água à captação (devido ao regime de extracção insuficiente do ensaio de molinetes, como já explicado anteriormente), a temperatura inferida em regime dinâmico iguala a identificada em regime estático, remetendo também a identificação e localização de um nível circulado enquadrado numa importante estrutura compreendendo ascensão de água mineral.

Pelo exposto, é peremptório considerar a correspondência entre o segmento da sondagem onde se localizam os materiais geológicos em discussão e a principal estrutura responsável pela ascensão de água “tipo Chaves” - a falha F1.

De forma complementar, menciona-se o facto da unidade geológica compreender ligeira variação térmica nas águas aí circulantes, veja-se o facto de CC3 captar em F1 água a 74,5 °C e AC2 captar na mesma estrutura água a 77 °C.

Quartzo filitos

Aqui residem materiais com grande porção de quartzo na sua constituição, distinguindo-se dois horizontes distintos: um inscrito à profundidade 156-168m, constituído por materiais com elevada porção de quartzo onde se inserem filonetes de quartzo com presença de pirite muito provavelmente associados à falha F1, sendo que estes materiais indiciam menor grau de compressão face aos envolventes; e outro, instalado à profundidade 168-192m, apresentando evolução crescente em profundidade quanto à presença de quartzo e (elevado) estado de compressão, muito provavelmente constituindo a aureola de contacto entre as formações magmáticas subsequentes e as antecedentes formações de baixo grau de metamorfismo, onde se enquadram os filitos mencionados anteriormente.

Em consonância com a dita variação da litologia identificada abaixo de F1, os perfis de reflexão sísmica apresentam acréscimo da velocidade sísmica face à litologia filitos, indicando a transição para uma formação com matriz rochosa mais compacta relativamente à sobrejacente (filitos).

Também a análise do controlo hidrogeológico, onde se relatam dificuldades de perfuração a partir dos 170m, vão de encontro aos resultados da reconstituição do log de sondagem. A partir dos 170m, profundidade onde se estima a intercepção da sondagem com a aureola de contacto, o avanço da perfuração tornou-se difícil devido aos elevados caudais afluentes à sondagem e elevada dureza das formações (dificulta a fragmentação imposta pelo bit), motivando a redução do diâmetros de perfuração, e aos 180m, a ineficácia do método com recurso a martelo-fundo-furo levou à necessidade da introdução do método de perfuração à rotary, evoluindo a perfuração ao longo da formação com avanços reduzidíssimos (2 a 4 m/dia) que, dada a metodologia da perfuração, por desagregação, evidência, além da elevada dureza da formação, a elevada coesão intergranular do material, características associadas aos materiais com elevada presença de quartzo, como é o caso.

Tanto o controlo hidrogeológico como as diagrafias diferidas indicam, para estas formações, afluxo à captação de águas enquadradas nas características físico-químicas evidenciadas na formação filitos quartzíticos (correspondente à zona de falha F1), supondo-se por isso que a alimentação tenha origem nessa estrutura, através de fracturas a ela conectadas.

A formação apresenta considerável presença de fracturas, algumas interceptando a captação por mais de 1m. As descontinuidades inscrevem-se entre os 162-181m e dispõem-se relativamente próximas, sendo a maior distancia assinalada entre si menor que 6m, e, de acordo com as informações provenientes do controlo hidrogeológico e diagrafias diferidas, quase todas elas compreenderão circulação de fluidos geotérmicos.

Contudo, a tentativa de localização de níveis circulados realizada através das imagens da endoscopia realizada a CC3 alude extensões de tubos-ralo possivelmente “mortas” abaixo dos 162,7 m de profundidade, contrariando a suposta circulação em quase todas as fracturas inscritas na litologia em estudo, mas existe a possibilidade das extensões de tubos-ralo onde se aponta ausência de afluxo resultar do desenquadramento dos mesmos com as fracturas e não da ausência de circulação de fluidos nas mesmas.

Granitos

A litologia definida contrasta fortemente com os materiais geológicos a ela sobrepostos, em consonância com o verificado no perfil de reflexão sísmica correspondente. O perfil sísmico evidencia considerável variação das velocidades sísmicas (acréscimo a rondar 400 a 500 m/s) coincidentemente com a mudança de litologia verificada no log de sondagem e, embora não exista material físico que permita confirmar a evolução dos granitos em profundidade, estima-se a monotonia da litologia até ao fundo acústico da campanha geofísica. Atente-se ao facto da evolução sísmica apresentar, entre a interface quartzo-filitos e o fundo acústico, com diferença de cotas topográficas de cerca de 400m, o acréscimo das velocidades sísmicas apenas na ordem dos 500 a 600 m/s, o que é relativamente reduzido para a extensão em profundidade mencionada, apontando-se por isso o enquadramento num corpo magmático em que o acréscimo das velocidades sísmicas derivem da compressão dos materiais sobrejacentes e não da variação de diferentes litologias. Desta forma, indica-se a interface entre os horizontes sísmicos definidos a castanho e a verde (PSX-5 – anexo VIII) como delimitação em profundidade entre os xistos e granitos indicados na cartografia geológica regional.

O controlo hidrogeológico não permite estabelecer características hidráulicas e físico-químicas à formação, visto que a perfuração da formação compreendeu o método rotary com injecção de água do rio na sondagem, impedindo a identificação de variações de caudais afluentes à captação e mascarando a aquisição dos dados físico-químicos medidos à boca da sondagem a partir do

fluido de perfuração. Porém, a velocidade de perfuração inferida permite constatar materiais menos coesos (relativamente aos envolventes) entre os 192-203m, com velocidade de perfuração de 11 m/dia, e materiais de elevada coesão entre 203-208m, onde a velocidade de avanço apresenta apenas 5 m/dia. Factos enquadrados nas indicações resultantes da reconstituição do log de sondagem, que apontam uma zona de transição para granitos no cutting correspondente aos 192-198m e granitos pelíticos com elevada coesão intergranular a partir dos 198m.

As diagrafias realizadas identificam um conjunto de duas fracturas relativamente isolado e instalado entre 192,4-195,6m (inserido na zona de transição), sendo que uma delas intercepta a sondagem por 1,6m, o que é considerável em comparação com a globalidade das fracturas atravessadas. Pelo exposto, presume-se a possibilidade do conjunto de fracturas corresponder ao ponto mais vincado da transição para os granitos, estando a formação das fracturas associada à descontinuidade entre os corpos magmático e metamórfico.

Pela evolução da temperatura e condutividade registadas no ensaio de molinetes em regime estático e dinâmico, é previsível, apesar de não ser identificado afluxo à captação (os molinetes apenas concluem perturbação), que o conjunto de fracturas mencionado apresente circulação de água do tipo Chaves enquadrada nas características identificadas nas formações quartzosas sobrejacentes, indiciando conexão com a falha F1.

Já no seio da formação granítica, o ensaio de molinetes identifica afluxo de água à captação (13%) entre 200,7-203,3m, profundidade coincidente com inversão do gradiente geotérmico e maior valor da condutividade registada em regime estático. No segmento correspondente ao afluxo mencionado não é identificada qualquer fractura nas diagrafias, pelo que possivelmente a água circulará através de pequenas fracturas com tamanho inferior à capacidade de identificação dos dispositivos usados nas diagrafias. Esses prováveis meios fissurados estarão conectados a estruturas verticais possivelmente interligadas à importante falha designada de F2, que se encontrará instalada abaixo do fundo acústico de PSX-4 (anexo VIII) (ver PSX-1, no anexo VIII, para perceber a possível influência de F2).

Dessa forma, a suposta falha F2 (detectada apenas em PSX-1) alimentará as fracturas verticais que a interceptam, promovendo a ascensão de fluidos geotérmicos no seio do corpo granítico. Tal ascensão, devido à pressão litostática, que condiciona a abertura e o desenvolvimento da rede de fracturas verticais à medida que se avança em profundidade, será muito lenta relativamente à condução de F1 e F2, promovendo, face ao maior tempo de residência da água no maciço, perda de temperatura e acréscimo da mineralização relativamente aos meios circulados com afluxo proveniente da circulação em F1, culminando na chegada a CC3 de águas sob menor temperatura face aos restantes níveis circulados interceptados e, consequentemente, na inversão térmica observada nas diagrafias.

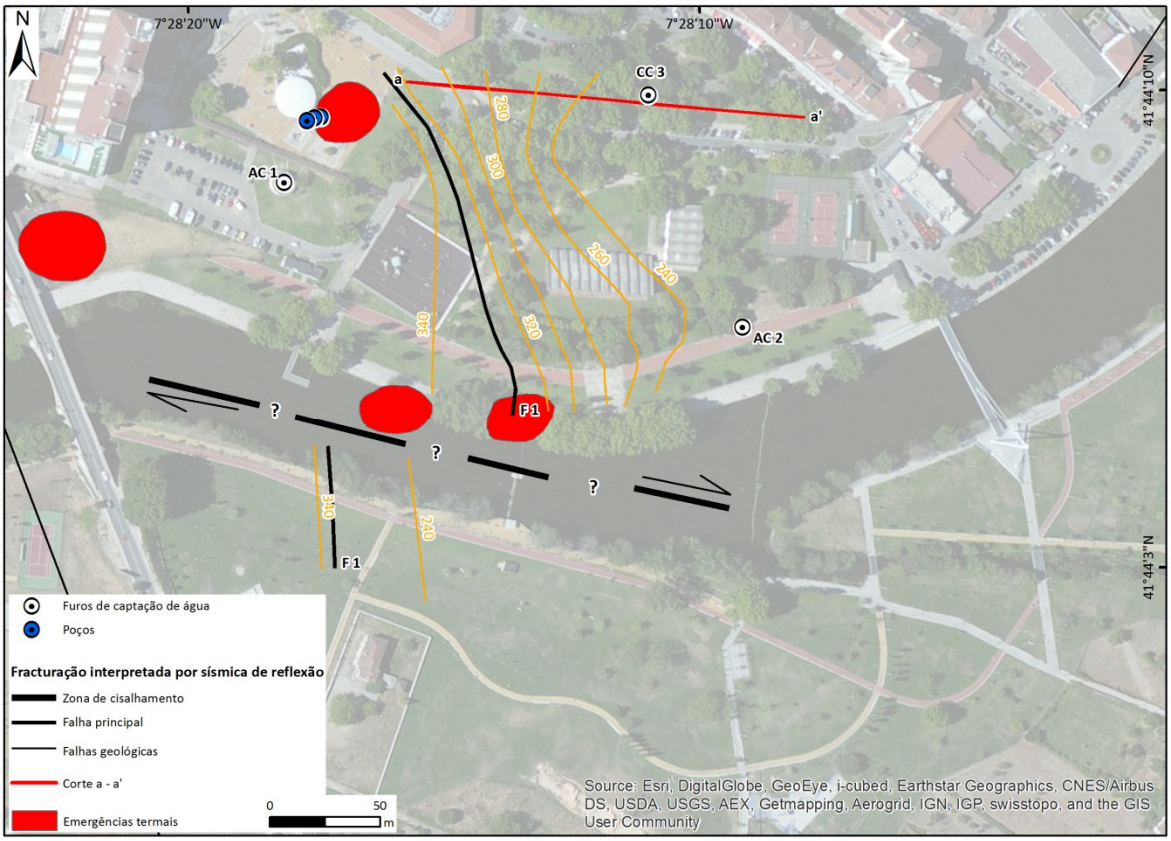


Figura 51. Implantação do perfil PSX-5 (OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012)).

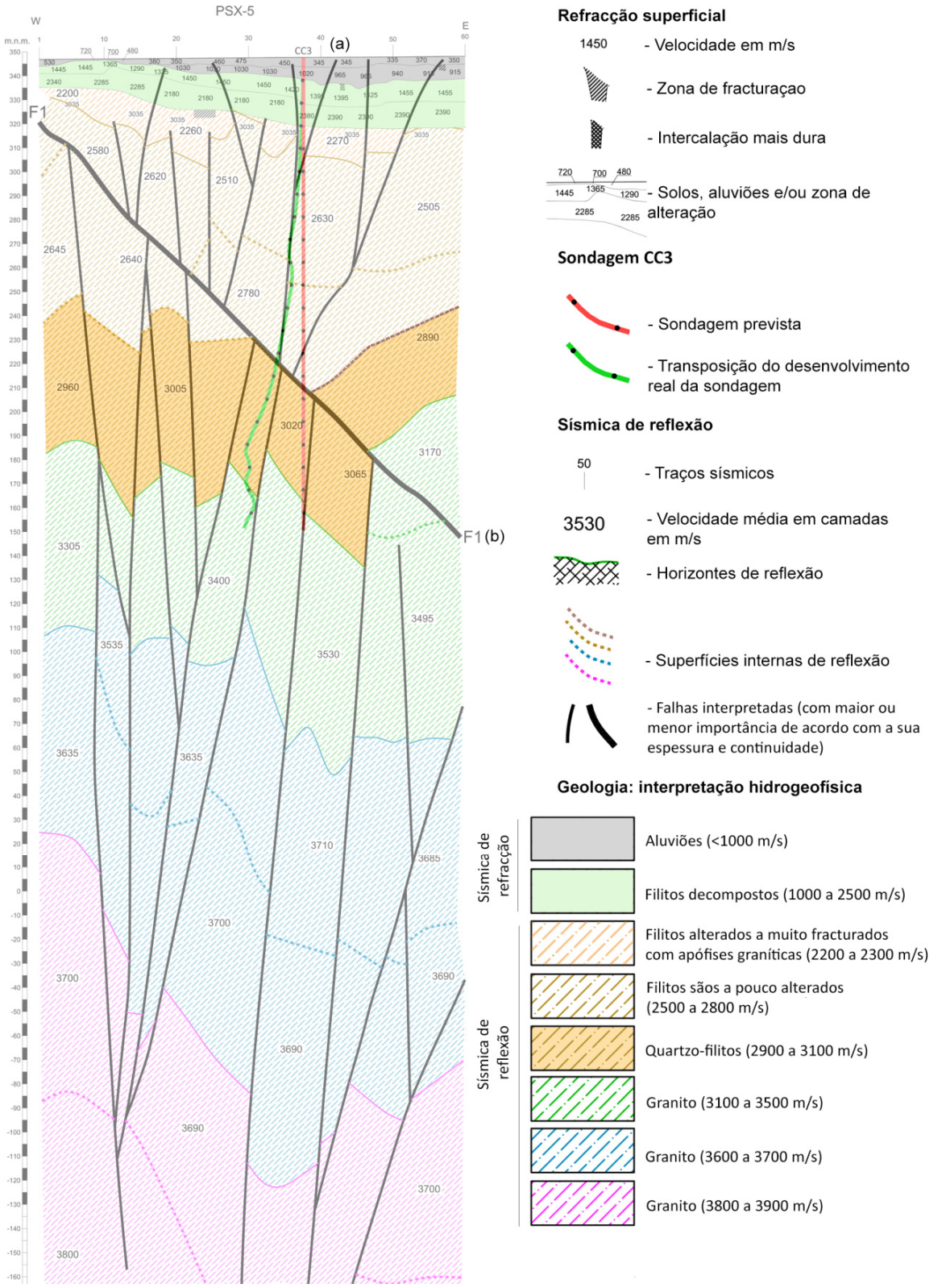


Figura 52. Localização da sondagem no perfil sísmico PSX-5 e correspondente interpretação geológica. A vermelho indica-se a previsão da sondagem em profundidade, a verde apresenta-se a transposição para o perfil do real desenvolvimento da sondagem (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

Quadro 33. Integração da informação mais relevante adquirida através dos trabalhos de construção da CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014; OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

Integração da informação mais relevante adquirida através dos trabalhos de construção de CC3

Reconstituição do log da sondagem CC3			Horizontes sísmicos interceptados por CC3					Níveis circulados inferidos através dos parâmetros de perfuração						Níveis circulados identificados através das diagrafias						Comportamento físico-químico inferido através das diagrafias				Estrutura da captação CC3				
Profundidade		Litologia						Parâmetros hidrodinâmicos e físico-químicos						Fracturas			Níveis circulados			Comportamento térmico		Comportamento condutivo		Profundidade		Elementos		
Sondagem (extensão) (m)	Real (aproximada) (m)	Descrição	Profundidade real (apróximada) (m)		Horizontes sísmicos	Velocidade sísmica (m/s)	Método sísmico	Níveis aquíferos atravessados (m)	Caudal acumulado (l/s)	Caudal por nível circulado (l/s)	pH	Temperatura (ºC)	Condutividade (µS/cm)	Profundidade Tecto (m)	Profundidade Base (m)	Espessura (m)	Profundidade Tecto (m)	Profundidade Base (m)	Afluxo de água á captação (%)	Profundidade (m)	Evolução geotérmica	Profundidade (m)	Evolução da condutividade	Topo (m)	Base (m)	Estrutura	Tipo de tubos da coluna definitiva (aço inox)	Revestimento preliminar
0-12	0-12	Aluviões	0	3,5	Branco	400	Refracção													---	---	---	---	(+) 0,8	47,7	Câmara de bombagem	Cego	Tubo em Aço carbono
			3,5	10		1200																						
12-26	12-26	Filitos decompostos	10	20		1400																						
			20	30		2800																						
26-42	26-42	Filitos alterados e muito fracturados c/ apófises graníticas e filonetes de quartzo	30	42,5	Laranja	2270		38	5,5	5,5	8,2	46	2547															
42-48	42-48	Filão de quartzo	42,5	47,5	Fractura	---											47,7 (a)	47,8 (a)	14	42,5-51,5	Invariável							
48-132	48-128	Filitos sãos a pouco alterados	47,5	100	Castanho	2630	Reflexão	60	15	9,5	---	69	---	48,3	49	0,7								47,7	60			
														51,7	54	2,3	52,2	53,6	42	51,5-52,5	Pico máximo							
														55,2	56,7	1,5	53,6	62,8	10	52,7-150	Após interceptar o pico máximo, a temperatura decai repentinamente e inicia-se um aumento progressivo do gradiente á medida que se avança em profundidade	0-185	Práticamente invariável					
														61,9	63	1,1												
														76,5	77	0,5												
														84	84,5	0,5												
														90,1	90,7	0,6	89	90,3	7									
														98,2	98,7	0,5												
														102	102,7	0,7												
														111,5	112	0,5												
			100	145		2800		130	18	3	---	70	2926	122,1	122,7	0,6	122,1	129,1	7					60	119,7	Coluna de captação e condução da água captada á câmara de bombagem		
														125,8	126,5	0,7								119,7	129,7		Ralo	
														127,8	128,6	0,8								129,7	141,7		Cego	
132-150	128-145	Filito são a pouco alterado c/ intercalações de quartzo												144,8	145,4	0,6								141,7	151,7		Ralo	---
														146,8	147,2	0,4												
150-156	145-150,5	Filitos quartziticos	145	145	Falha F1	---		152	67	49	7,9	71	2946	150,1	151,9	1,8								151,7	157,7		Cego	
156-192	150,5-181,5	Quartzo-filito	145	190	Castanho	3020								162,1	162,7	0,6	160,8	161,7	7	150-192,5	Invariavel			157,7	167,7		Ralo	
														166,5	167,5	1								167,7	173,7		Cego	
														168,8	169,4	0,6												
								174	80	13	---	74	2900	171,2	172	0,8								173,7	178,7		Ralo	
								180	94	14	7,8	74	3010	178,4	179,4	1								178,7	184,7		Cego	
														179,9	181,2	1,3												
														192,4	193,3	0,9	192,7	194,2	(b)	192,5-205	Inversão do gradiente geotérmico	185-205	Ligeiro acréscimo	---	---	---	---	
192-207	181,5-194	Granito	190	195	Verde	3500								194	195,6	1,6												
																	200,7	203,3	13									

Nota: Os horizontes sísmicos encontram-se definidos de acordo com a coloração apresentada nos perfís sísmicos resultantes da campanha de prospecção geofísica.

Legenda:
(a) Presume-se que corresponda ao filão de quartzo;
(b) Perturbação no molinete e decréscimo da temperatura;
Niveis circulados ou c/ fortes indicios de circulação.

Notas: Os niveis circulados identificados pelos parâmetros de perfuração dispõe-se na tabela alinhados com as fracturas ás quais se supõe corresponder.

Nota: Os comportamentos térmico e condutivo referem-se ao ensaio em regime dinâmico.

Nota: As profundidades mencionadas correspondem ao comprimento de extensão da sondagem, á excepção das profundidades aqui denominadas de reais, as quais correspondemá profundidade vertical apróximada

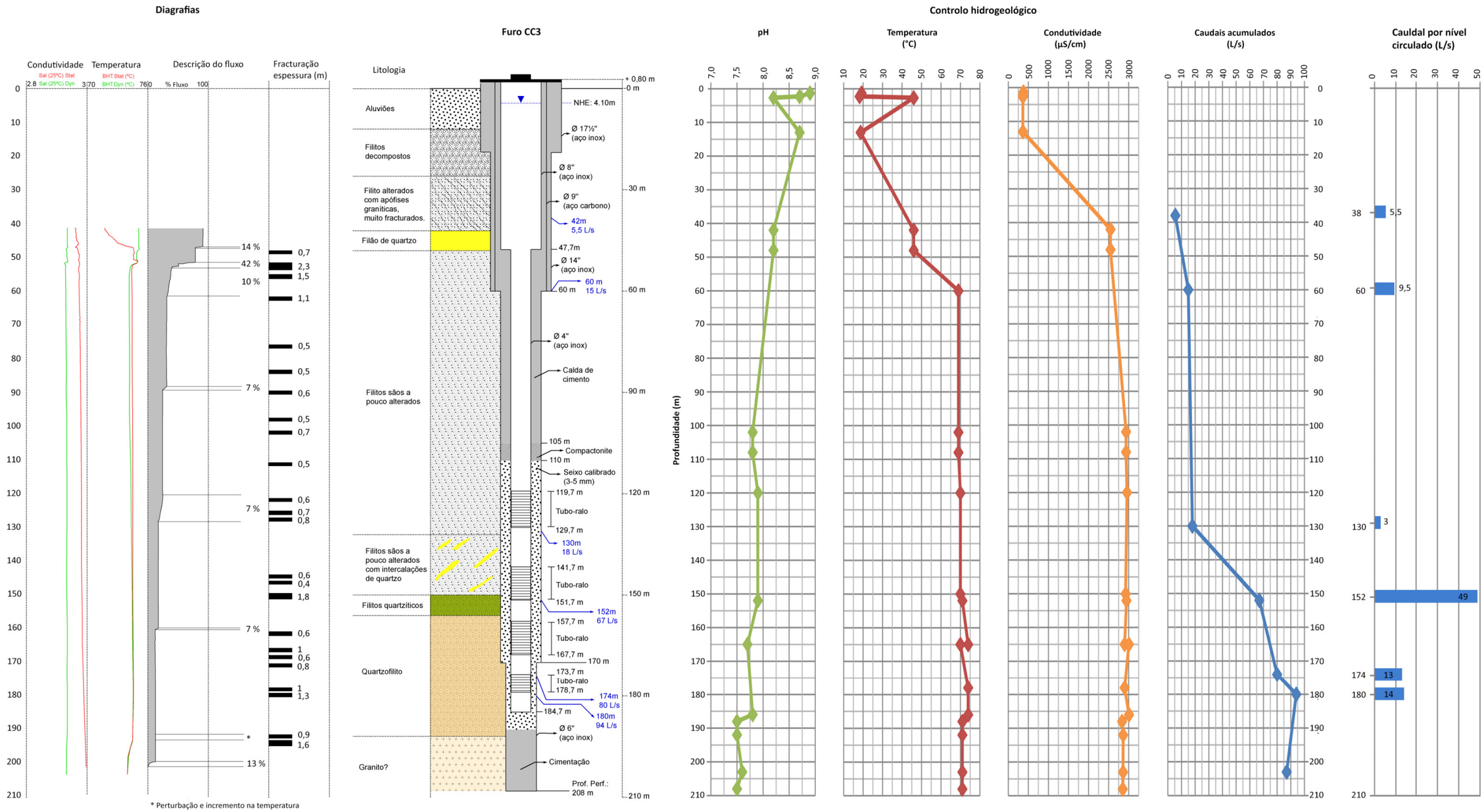


Figura 53. Representação gráfica da Integração da informação mais relevante adquirida através dos trabalhos de construção da CC3 (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014; Flodim Sarl, 2014).

12.10. Tentativa de interpretação conjunta

Após a minuciosa análise pontual desenvolvida com base em CC3, pretende-se nesta fase desenvolver o estudo à escala da zona de descarga nos Campos do Tabolado, tentando-se, através dos perfis geofísicos realizados e das informações conhecidas inerentes a AC1 e AC2, extrapolar os resultados da análise de pormenor de CC3 para a zona de descarga.

Iniciando a investigação pelas maiores estruturas instaladas na zona de descarga com susceptibilidade de constituírem armadilhas hidrogeológicas com ascensão de água mineral, aponta-se a falha de cisalhamento deduzida pelos perfis sísmicos sob o leito do Rio Tâmega (figura 12 – anexo VIII) e a falha F1.

A nível hidráulico, a referida falha de cisalhamento, embora seja uma estrutura tectónica a considerar e coincida com emergências termais (figuras 51 e 55), não contribuirá com recarga lateral na zona de descarga, se tal ocorresse, não seria verificada inversão do gradiente geotérmico abaixo dos 195 m em CC3 e, principalmente, abaixo dos 50m de profundidade em AC1, pois a recarga ocorreria lateralmente em profundidade e, particularmente no caso de AC1, face à sua conexão com a falha de cisalhamento através do horizonte muito fracturado definido a laranja (onde AC1 capta), para essa falha constituir uma importante estrutura de circulação na zona de descarga teria de se verificar na captação evolução térmica gradual à medida que se avança em profundidade. Ao invés, a inversão do gradiente geotérmico em AC1 ocorre ainda no seio do horizonte muito fracturado definido a laranja nos perfis sísmicos, indicando ausência de recarga lateral na litologia definida a laranja por parte da falha de cisalhamento.

Também a variação térmica identificada na litologia muito fracturada definida nos perfis sísmicos pelo horizonte cor-de-laranja vai de encontro ao suposto. Em AC1, a litologia é circulada por águas a 70 °C, enquanto em CC3 é circulada por águas a 49 °C, ora, dada a continuidade lateral com geometria sub-horizontal da referida litologia, contactando permanentemente com a falha de cisalhamento, não seria previsível tal diferença de temperatura entre dois pontos a profundidades semelhantes no seio da litologia muito fracturada caso a dita falha de cisalhamento lhe conferisse recarga lateral em profundidade.

Excluindo portanto a falha de cisalhamento da equação, estima-se que a variação de temperatura indicada para a litologia constituída por filitos muito fracturados advenha da maior ou menor distância a F1, que certamente constituirá a principal estrutura responsável pela ascensão de água mineral na zona de descarga.

Os factos apontados vêm corroborar as suspeitas decorrentes da análise das informações provenientes dos trabalhos de construção de CC3. Durante a perfuração, aos caudais máximos de perfuração (alcançados após interceptar F1) foram registadas influências nas captações AC1 e AC2, e também nas escavações das Termas Romanas (fonte: pedido de autorização de colocação da coluna definitiva à DGEG), pelo que já se preconizava que F1 constituísse uma estrutura de extrema importância na ascensão de água á à zona de descarga, sendo até, pelo menos nas imediações dos Campos do Tabolado, o único elemento geológico de destaque na condução de água mineral a nível subsuperficial, com influência directa não só nas captações aí instaladas mas também nas emergências presentes na Cidade de Chaves.

A nível hidráulico, o potencial da armadilha F1 é considerável, como prova o elevado registo de caudais de perfuração (94 L/s) em CC3 simultaneamente à normal extracção de AC1 e AC2 e sem impedir que estas continuassem a funcionar para o normal aproveitamento geotérmico.

Estabelecida a principal estrutura responsável pela alimentação da zona de descarga pretende-se avaliar a sua influência sobre o modelo de circulação em profundidade. Daí resultam cinco zonas definidas em profundidade segundo divergente comportamento litológico, de temperatura e hidráulico, circunscritas lateralmente (á luz das limitações do conjunto de informações utilizadas

na presente investigação) pela delimitação dos Campos do Tabolado, mas poderão estender-se a todo o campo hidromineral localizado na Cidade de Chaves (figura 54 e quadro 34). Integrando toda essa informação, com particular atenção ao zonamento mencionado, estabelece-se ainda através da figura 54 o modelo de circulação de água mineral nos Campos do Tabolado.

Apresentando o zonamento diferenciado em profundidade papel preponderante na definição do modelo de circulação, dispõe-se em seguida a descrição das cinco zonas que o compõe:

Zona 1

Inscrita nas litologias constituídas por aluviões e filitos decompostos, compreende essencialmente circulação de águas frias ditas "normais". Porém, enquadra ainda circulação de água mineral proveniente da ascensão a partir dos filitos muito fracturados, localizados imediatamente abaixo dos filitos decompostos. A água quente em ascensão encontra-se intercalada com níveis circulados de água "normal", circulando muito provavelmente em fracturas vestigiais e/ou pequenos horizontes diferenciados no seio daquelas formações geológicas que constituem meios de circulação preferencial. Estes meios, quando em contacto com os filitos muito fracturados, possibilitarão ascensão de águas quentes a partir daí, apresentando circulação de águas com valores de temperatura na gama dos observados no local de contacto das fracturas vestigiais com os filitos muito fracturados, verificando, nas imediações de CC3, 48 °C de temperatura.

De realçar que embora na perfuração de CC3 estas camadas geológicas superficiais apresentem caudais irrelevantes, nas proximidades do afloramento de F1, onde se localizam os antigos poços tradicionais que em tempos alimentaram as Caldas, os caudais circulantes nos materiais geológicos superficiais são consideráveis, pelo que se prevêem caudais circulantes crescentes à medida que se avança pela zona 1 na direcção do afloramento de F1, assim como a evolução térmica associada, que será também crescente com a proximidade a F1.

Zona 2

A zona 2 inscreve-se no horizonte definido a laranja nos perfis sísmicos, o qual corresponde a filitos muito fracturados.

A continuidade lateral apresentada por este horizonte, que contacta com diversas falhas verticais que promovem ascensão de água mineral desde a falha F1, e também com a falha F1, providenciará a conexão hidráulica a níveis subsuperficiais entre as diversas falhas verticais e a falha F1 através da vasta rede de fracturação que caracteriza a litologia, sendo previsível a evolução lateral crescente do gradiente geotérmico à medida que se avança lateralmente pela formação no sentido da falha F1, onde o maior potencial hidráulico e elevado afluxo da água mineral proveniente dessa armadilha (face a águas superficiais) dificultará o afluxo de águas normais a esses sectores (recorde-se que AC1 capta neste horizonte água do tipo Chaves a cerca de 70 °C, temperatura muito superior aos 49 °C medidos neste horizonte durante a perfuração de CC3).

À medida que se afasta lateralmente de F1 pela formação de filitos muito fracturados, as águas normais, com circulação em sentido descendente, terão maior possibilidade de penetrar na formação, visto que nesses sectores, como a ascensão e consequente acesso aos filitos fracturados de água mineral provém de estruturas verticais com menor potencial face a F1, a água mineral aí afluente compreenderá menor potencial hidráulico e menores caudais circulantes relativamente às imediações de F1, providenciando mistura de águas e consequente decréscimo da temperatura e condutividade das águas aí circulantes, de acordo com o verificado na perfuração de CC3.

Dado o exposto, é peremptório apontar a falha F1 como a principal estrutura responsável pela ascensão de água mineral na zona de descarga e a litologia constituída por filitos muito

fracturados como unidade litológica que compreende circulação de água mineral com mistura de maior ou menor porção de águas superficiais de acordo com a distância de intercepção da litologia com F1, sendo que na proximidade de F1 ocorrerá reduzidíssima ou nenhuma mistura de águas, dado o elevado caudal e potencial hidráulico da água mineral com circulação em sentido ascendente proveniente dessa estrutura, o que impossibilitará a circulação descendente de águas "normais" nas suas imediações.

Zona 3

Esta zona compreende a secção em profundidade entre os filitos muito fracturados (fronteira superior) e F1 (fronteira inferior).

Segundo a informação proveniente de AC2 e CC3, a zona em análise verifica evolução crescente do gradiente geotérmico com a profundidade, culminando na máxima temperatura à profundidade de F1. Embora o enunciado constitua regra geral, os materiais aí instalados compreendem inúmeras fracturas verticais (identificadas nos perfis sísmicos), estruturas planares onde se verifica circulação de água proveniente de F1 (com a qual contactam) com maior potencial térmico relativamente à generalidade das temperaturas estabelecidas para a zona 3.

Para além das indicações inerentes à construção das captações, o zonamento resultante da campanha geoeléctrica também aponta essas estruturas subverticais como elementos preferenciais na ascensão de água mineral pela zona 3, visto que as áreas de baixa resistividade localizam-se, na sua maioria, em cunhas entre fracturas subverticais.

Associadas à origem das fracturas subverticais sucedem-se outras a elas próximas e de menor dimensão, mas ainda assim maiores comparativamente às fracturas regulares inerentes às formações. Essas descontinuidades, por estarem conectadas e próximas às importantes fracturas subverticais identificadas nos perfis sísmicos, compreenderão potencial hidromineral equivalente.

Assim, ocorrem, nesta zona definida entre F1 e os filitos muito fracturados, materiais geológicos compreendendo circulação de água mineral através de pequenas fracturas, com maior temperatura à medida que se avança em profundidade, e, pontualmente, fracturas consideráveis cortando os materiais subverticalmente, promovendo rápida ascensão a partir de F1, e por conseguinte, potencial térmico equivalente a F1 e caudais circulantes superiores á circulação geral instalada através de pequenas fracturas.

Zona 4

A zona 4 enquadra-se numa facha com algumas dezenas de metros de espessura (50 m em CC3) desenvolvida em profundidade abaixo de F1, estrutura nela inserida.

A zona caracteriza-se pelos maiores caudais circulantes e maior potencial térmico das águas em ascensão, que aqui circulam em F1 e fracturas associadas à sua origem, as quais, por estarem a ela directamente conectadas, apresentam também elevados caudais circulantes e condições térmicas equivalentes.

Embora nas imediações de CC3 a zona apresente cerca de 50 m de espessura, tal dimensão não será representativa da generalidade da zona, prevendo-se que à medida que se afasta na direcção Este e Oeste a espessura da zona seja menor. Recorde-se que nas imediações de CC3 a zona de interface xistos/granitos é interceptada por F1, o que providenciará o acesso das águas de elevado potencial às fracturas associadas aos materiais quártzicos da interface (quartzo-filitos) e às descontinuidades inerentes às interfaces entre litologias, aumentando assim, nas imediações de CC3, a espessura da zona 4, por compreender uma extensão adicional da rede de fracturas com circulação de águas com elevado potencial.

Posto isto, depreende-se que, na zona de descarga, ao longo do alinhamento definido pela intercepção de F1 com a interface Xistos/granitos, a zona 4 apresentará maior espessura face à caracterização geral, pois à normal espessura relativa á circulação em fracturas associadas a F1 é adicionada a espessura relativa á circulação em (consideráveis) fracturas associadas à fracturação na zona de interface entre as litologias, aumentando o desenvolvimento em profundidade da zona aqui definida.

Zona 5

Esta zona desenvolve-se em profundidade abaixo da zona 4, até à falha F2 (ver o enquadramento de F2 no perfil sísmico PSX1 – anexo VIII).

Aqui a circulação realizar-se-á ascensionalmente através de estruturas subverticais alimentadas por F2 e com caudais e temperaturas inferiores à zona 4, compreendendo inversão de gradiente geotérmico na transição da zona 4 para a zona 5.

À medida que se caminha em profundidade a partir da transição entre as zonas 4 e 5, é expectável o decréscimo da temperatura até determinado ponto no seio da zona 5, a partir daí, prevê-se evolução crescente da temperatura à medida que se aproxima em profundidade de F2, estrutura para a qual se preconizam elevados caudais circulantes e elevado potencial térmico, pelo menos em valor equivalente a F1.

A condutividade da água aqui presente, que se associa a maior tempo de residência, comportar-se-á inversamente à temperatura, diminuindo à medida que se aproxima em profundidade de F2 devido ao menor tempo de residência no maciço.

Embora em CC3 a transição da zona 4 para a zona 5 coincida com a transição para a litologia granitos, a inversão do gradiente geotérmico característica relativamente à zona 4 não estará directamente associada a essa litologia, mas sim à distância a F1. Prova disso é a inversão de gradiente geotérmico verificada em AC1 a 50 m de profundidade, na litologia filitos, muito acima do tecto da litologia granitos, e o facto de AC2, apesar de provavelmente interceptar a litologia granitos (pelo verificado em PSX 2- anexo VIII), não apresentar inversão térmica, pois a perfuração não se desenvolveu a profundidade suficientemente distante de F1 para que tal ocorresse.

Dado o zonamento definido e a inerente caracterização exposta, o modelo de circulação de água mineral nas zonas 1, 3, 4 e 5 derivam exclusivamente da fracturação e não da associação a um substrato litológico específico, ao contrário da zona 2, que para além de dependente do modelo de circulação das zonas definidas subsequentemente em profundidade, encontra-se condicionada e circunscrita pela litologia filitos muito fracturados.

Quadro 34. Zonamento térmico nas imediações de CC3.

Zonamento térmico	
Zona	**Caracterização**
1	Águas normais, á temperatura ambiente (~18 ºC em CC3) e com condutividade reduzida (~370 µS/cm em CC3). Pode ocorrer circulação intercalada de água de mistura em fracturas vestigiais com proveniencia da zona térmica 2, que por conseguinte apresenta características equivalentes ás águas dessa zona térmica.
2	Águas de mistura, com temperatura e condutividade intermédia, respéctivamente 48 ºC e ~2500 µS/cm em CC3.
3	Água mineral com temperatura compreendida compreendida entre 70 e 74 ºC e condutividade na ordem dos 2950 µS/cm (dados relativos a CC3).
4	Água mineral com maior potêncial térmico, na ordem dos 74 ºC (medido pelo controlo hidrogeológico em CC3) a 74,5 ºC (medido pela sonda de temperatura na realização de diagrafias em CC3).
5	Água mineral com temperatura inferior a 74 ºC - inversão do gradiente geotérmico - e maior valor de condutividade verificado em CC3 (valores apresentados pelas diagrafias realizadas em CC3)

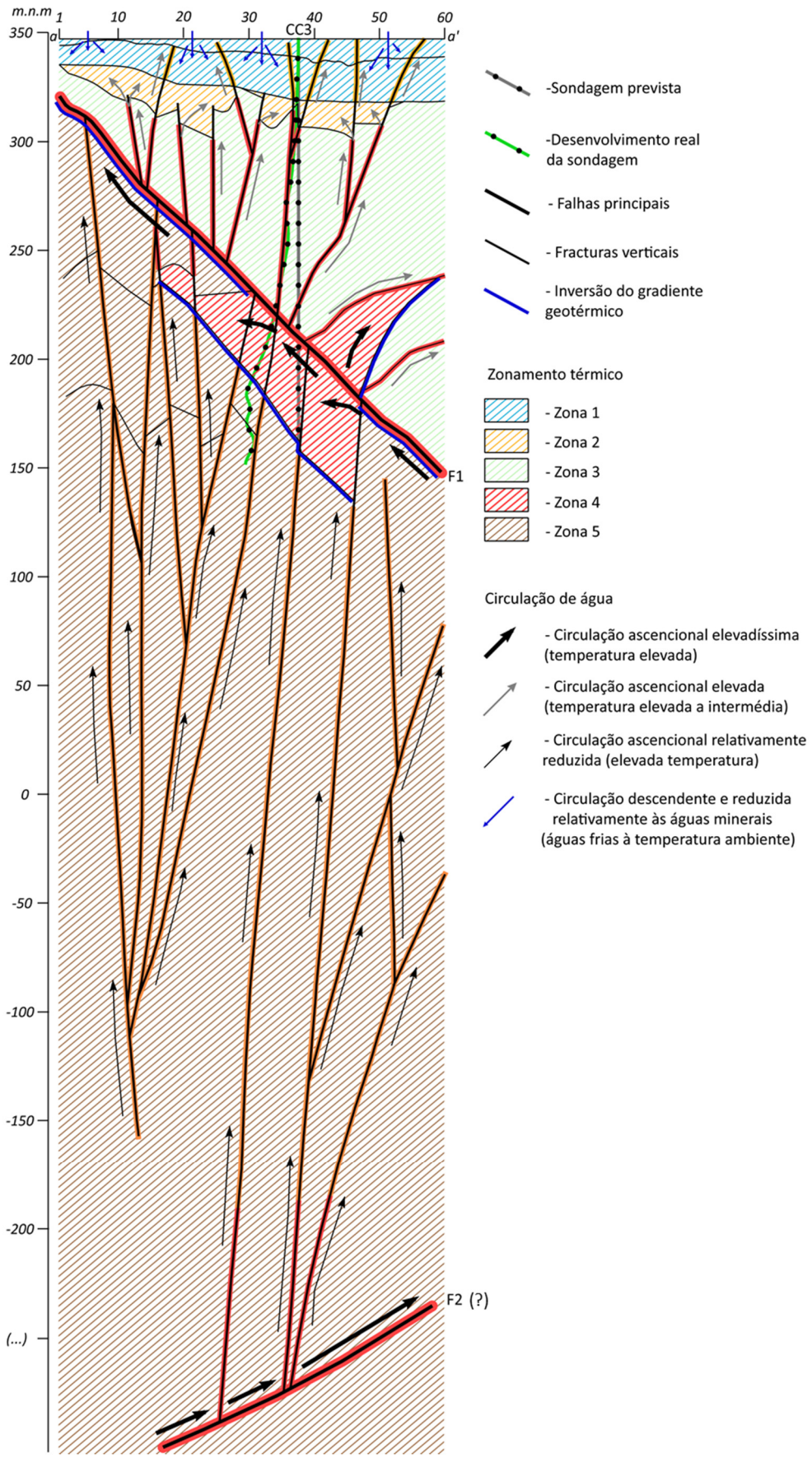


Figura 54. Modelo conceptual hidrogeológico para as imediações da captação CC3 (adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012).

12.11. Influência da fracturação na zona de descarga do campo hidromineral de Chaves

Previamente à realização deste documento era já dada, segundo Carvalho & Silva (1988), a importância de F1 e de outras falhas de orientação NNE na ascensão de águas minerais e consecutiva origem das emergências localizadas no campo hidromineral de Chaves.

Com os desenvolvimentos da presente investigação, pelo menos no que concerne aos Campos do Tabolado, torna-se evidente o papel preponderante de F1 na zona de descarga, e acrescenta-se à equação uma outra importante falha onde "morrerá" F1 – a falha F2 (ver perfil PSX1 – Anexo VIII), que provavelmente alimentará F1. Estas falhas de direcção N 20º W (relativamente a F2 não se tem certeza) e pendor contrário constituirão as estruturas primordiais do sistema mineral, constituindo as principais armadilhas hidrogeológicas em profundidade à escala da zona de descarga, tanto a nível térmico como de caudais.

Hoje, com os trabalhos de sísmica de reflexão de alta resolução, o desenvolvimento em Profundidade de F1 é bem conhecido, sendo portanto quase incontestável a sua influência sobre os aglomerado de emergências localizado no quadrante SW do campo hidromineral, que directamente, na sua zona de afloramento, ou indirectamente, através de fracturação a ela transversal (NNE) e/ou inúmeras fracturas subverticais NNW de menor expressão que contactam F1 em profundidade e promovem condução preferencial de F1 para níveis subsuperficiais.

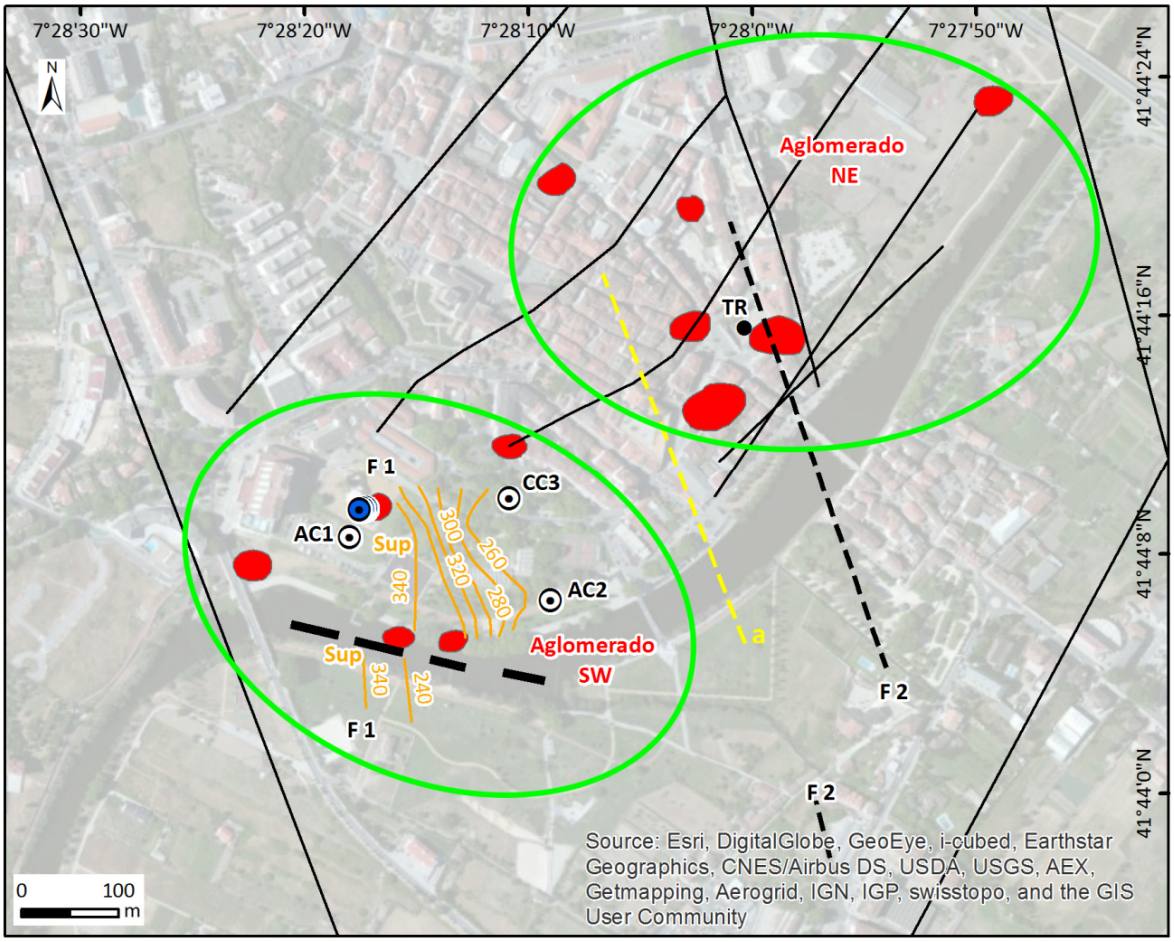
Enquanto F1 está bem documentada, F2, por surgir apenas num perfil sísmico (PSX-1 – anexo VIII) a Sul do Tâmega, não pôde ser estudada na zona de descarga. Porém, estima-se (até pelas evidencias apresentadas em todo o documento que remetem a sua presença a Norte do Tâmega) que F2 se desenvolva para Norte do Tâmega, aflorando, possivelmente, nas imediações da demarcação apresentada na figura 55, pensando-se por isso que esta estrutura terá influência nas emergências que constituem o aglomerado NE, cedendo-lhe água mineral directamente, nas imediações do seu afloramento, ou indirectamente, através das falhas NNE que a cortarão transversalmente e/ou outras fracturas a ela paralelas (NNW) de menor envergadura, como as verificadas nos perfis sísmicos realizados nos Campos do Tabolado.

À luz dos pressupostos, F1 e F2 serão então os principais elementos responsáveis na ascensão de água mineral na zona de descarga, proporcionando a alimentação das emergências e captações localizadas na Cidade de Chaves, sendo que F1 influenciará principalmente o aglomerado de emergências SW e F2 o aglomerado de emergências NE (figura 55, 56 e 58), mas não de forma individualizada, pois a fracturação NNE ao cortar F1 e F2 transversalmente proporcionará conectividade entre F1 e F2 também em níveis mais superficiais e, dessa forma, ambas as falhas principais estabelecerão uma espécie sinergia na contribuição/alimentação de água mineral aos níveis subsuperficiais, aliás, a elevada transmissividade determinada a partir do rebaixamento verificado nas Termas Romanas aquando dos ensaios de caudal com extracção em CC3 pode ser visto como um indicador nesse sentido.

Posto isto, aponta-se o papel fundamental da tectónica na zona de descarga, destacando-se a "cunha" formada e delimitada por F1 e F2 (figura 58) como um volume de maciço geológico distinto no que respeita à circulação de fluidos geotérmicos na Cidade de Chaves, sendo as suas interfaces delimitadoras em profundidade, que se constituirão por F1 e F2, meios particularmente produtivos a nível de temperatura e caudais.

Apesar de toda a fundamentação apontada quanto à tentativa de escrutínio da influência da fracturação na zona de descarga, alerta-se o leitor menos atento que os pressupostos inerentes a F2 a Norte do Tâmega (principalmente) fora dos Campos do Tabolado é ainda uma incógnita, sem base de estudo que permita apontar sem ressalvas a sua influência sobre as emergências termais, pelo que o aglomerado de emergências NE poderá mesmo resultar simplesmente da condução de águas minerais desde F1 até ao quadrante NE do campo hidromineral através da fracturação NNE e/ou outras até com menor dimensão, como as fracturas NNW.

Perante a dureza das formações, maioritariamente compostas por rochas cristalinas, o meio de circulação preferencial decorre de meios fracturados/fissurados (permeabilidade em grande), sendo já exposto várias falhas e fracturas com provável papel fulcral na alimentação das emergências hidrominerais. Contudo, deve-se destacar ainda ocorrências pontuais de zonas de elevada fracturação (como verificado em PSX-4 – anexo VIII) onde a quase contiguidade entre fracturas concede a formação localizada de meios com comportamento circulatório equiparado aos intersticiais/porosos (permeabilidade em pequeno), constituídos pelo material extremamente fracturado, os quais, quando conectados a estruturas circuladas importantes, constituirão elementos com excepcional condução ascensional de água mineral, estabelecendo, a par das importantes estruturas anteriormente mencionadas, armadilhas hidrogeológicas interessantes para a implantação de captações.



Legenda: Fa – Falha de cisalhamento; F1 – Falha F1 (desenvolvimento em profundidade cotado de 20 em 20 metros, desde a superfície até 80 m de profundidade); F2 – Possível afloramento da suposta falha F2; a – Transposição para a superfície da suposta intercepção em profundidade de F1 e F2 (estima-se que ocorra a cerca de 360 m de profundidade); Aglomerado SW – Aglomerado de emergências NE; Aglomerado NE – Aglomerado de emergências SW; TR – Termas Romanas; / – Falhas apresentadas pela bibliografia (Carvalho & Silva, 1988); O – Emergências Termais localizadas na Cidade de Chaves (Carvalho & Silva, 1988).

Figura 55. Localização relativa da fracturação, emergências e captações no campo hidromineral de Chaves (Adaptado de OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012; Lima, 1982; Carvalho & Silva, 1988).

13. Modelo conceptual hidrogeológico

13.1. Modelo conceptual hidrogeológico global

Para enquadramento do leitor apresenta-se de forma breve, com base na bibliografia disponível, o modelo geral que conceptualiza a circulação das águas minerais de Chaves.

O sistema hidromineral é recarregado por infiltração de águas meteóricas a cotas relativamente elevadas, por exemplo na parte NE da depressão de Chaves, as quais, em fluxo descendente (possivelmente) por falhas ENE-WSW, atingem elevada profundidade (cerca de 3 Km) onde contactam fluidos mineralizados profundos e ricos em CO_2 com fluxo ascendente provenientes do manto, ascendendo, posteriormente, já mineralizadas, através de falhas profundas relacionadas com a formação do Graben devido a artesianismo motivado por convecção (figura 38), (Machado, 2009).

A partir dessa profundidade, as águas mineralizadas iniciam o seu ciclo ascendente através de falhas e/ou fracturas, formando um suposto aquífero horizontal poroso (figura 36) instalado na parte mais profunda do graben, nos sedimentos sob o bed-rock, o qual se localiza de forma mais proeminente na zona central da bacia de Chaves até 1000 a 1200 m de profundidade, compreendendo tecto impermeável localizado entre 400 e 200 m de profundidade. Posteriormente, a água mineral mantem movimento ascendente em meios fissurados, através de falhas N70 °-80 °E, N20 °-30 ° W e NNE-SSW, especialmente em nós de intercepção entre si (Carvalho & Silva, 1988; Santos et al., 1996; Duque et al., 1997; Machado, 2009).

Nas imediações da cidade de Chaves, a migração ascendente da água mineral ocorre através da falha NNE que define a fronteira W de preenchimento do graben e, provavelmente, mais perto da superfície, o fluido geotérmico encaminhar-se-á através do cruzamento estrutural entre a falha de delimitação do graben com outras de direcção ENE (N70°E), acabando por emergir no campo hidrotermal a SE da cidade de Chaves, estando as emergências relacionadas a uma zona muito fracturada localizada a Oeste da caixa de falha que delimita a fronteira Oeste do Graben (Carvalho & Silva, 1988).

Estima-se, para esse circuito, que a água circula por granitos, à excepção da zona de descarga na cidade de Chaves, onde circula por metassedimentos, e sofrerá, no seu percurso descendente, acréscimo da temperatura de 13 °C, na recarga, para 120 °C, na zona de circulação mais profunda, aumentando também o teor em água mineral. Por oposição, no movimento ascendente, a temperatura diminui para cerca de 75 °C na zona de descarga.

Estima-se que o tempo inerente ao percurso da água seja superior a 150 anos, compreendendo circulação com velocidade significativa - 91,45 m/ano (Duque et al., 1997).

13.2. Modelo conceptual hidrogeológico para a zona de descarga

Com base na investigação aqui desenvolvida, apoiado também em investigações anteriores (Carvalho & Silva, 1988; OCSA Prospecciones y Estudios S.L., 2012), expõe-se o modelo conceptual hidrogeológico para a zona de descarga das águas minerais de Chaves, o qual é acompanhado de modelos em profundidade de âmbito geológico (figuras 56 e 57), circulatório e térmico (figuras 56 e 58) apresentando zonamentos diferenciados segundo divergente comportamento hidráulico, térmico e condutivo (condução eléctrica do fluído, associado á mineralização da água).

A água mineral, após ascender de profundidades elevadas essencialmente através de nós de intercepção de falhas verticais profundas, por conexão hidráulica, migrará das falhas regionais para F2, estrutura na qual chega à zona de descarga (figura 58).

À escala da zona de descarga (figura 55), a água mineral surge em circulação por F2 no seio de granitos (figuras 57 e 58), fluindo a partir daí de forma distinta, grande parte dos caudais circulantes mantem-se em rápida ascensão por F2, enquanto uma menor porção ascende através de fracturas subverticais de menor expressão instaladas sobre F2, com a qual contactam.

A menor porção de água mineral em circulação através das fracturas subverticais instaladas sobre F2, devido à menor capacidade de condução dessas estruturas face a F2, ascende com menor caudal circulante e menor velocidade ascendente, resultando num maior tempo de residência na formação e, consecutivamente, no maior decaimento geotérmico (pelo menos 0,5 °C em CC3) e acréscimo da mineralização da água aí circulante face às águas com ascensão através de F2, pelo que o gradiente geotérmico diminuirá à medida que se avança verticalmente de F2 em sentido ascendente (zona térmica 5 – figura 58), motivando a formação de um nível com inversão do gradiente geotérmico nas proximidades de F1.

Já a maior porção de água mineral que se mantem em ascensão por F2, alcançando a intercepção com F1, provavelmente repartir-se-á por dois meios preferenciais de circulação, parte dessa água transitará para F1, enquanto a restante manter-se-á em circulação por F2, em ambos os casos fluindo ascensionalmente para a superfície, dando origem às emergências termais do Campo hidromineral.

Nesse percurso desde a intercepção entre F1 e F2 até à superfície, a maior porção das águas continuarão o percurso ascensional com temperatura e caudais elevados, em grande parte através de F1 e F2 e das respectivas zonas tectonizadas que formarão uma rede de conexão privilegiada às falhas que lhes deram origem (F1 e F2), constituindo, por isso, meios com temperatura e caudais circulantes consideráveis (zona 4 – figura 58).

Da água que circula em F1 e F2 a partir do ponto de intercepção entre ambas as falhas, tal como ocorreu em F2 abaixo do referido ponto, uma menor fracção transita para inúmeras fracturas subverticais (NNW) e falhas (NNE) que as interceptam transversalmente, mantendo-se aí em fluxo ascendente a caminho da superfície (zona 3 – figura 58).

A nível de temperatura, as fracturas NNW e as falhas NNE (pelo menos nas imediações dos campos do Tabolado) condutoras na zona 3, ao contrário do comportamento a elas associado na zona 5, mantêm o potencial térmico das armadilhas que as alimentam – F1 e F2. Diferença comportamental que se deverá ao facto das fracturas encontrarem-se na zona 3 próximo da superfície, sob menor tensão litostática que na zona 5, dispondo-se por isso mais abertas, o que facilita o fluxo da água com maior velocidade. Além disso, como as estruturas desenvolvem-se na zona 3 por menor extensão, o percurso da água será também menor, pelo que, fluindo a água com maior velocidade num menor percurso, o decaimento térmico na zona 3 será reduzidíssimo ou nulo.

Numa abordagem geral, pelo menos nos Campos do Tabolado, desde a superfície até F1 e F2 ("cunha" ilustrada nas figuras 57 e 58), o gradiente geotérmico das águas circulantes cresce quase gradualmente à medida que se avança verticalmente em profundidade, aumentando dos 18 °C, em níveis superficiais com circulação de águas "normais" à temperatura ambiente, para valores entre 69 a 77 °C, nas proximidades de F1, de acordo com os registos verificados em AC1, AC2 e CC3 no decurso da construção de CC3. A excepção ao regular acréscimo do gradiente geotérmico em profundidade ocorre pontualmente aquando da presença das fracturas subverticais acima descritas, que por conferirem circulação preferencial a partir das principais falhas apresentam potencial geotérmico (cerca de 74,5 °C medido em CC3) equivalente às estruturas que as alimentam (F1 e possivelmente F2), compreendendo destaques de temperatura localizados relativamente à generalidade da envolvente.

A nível genérico, toda a água em ascensão pelas diversas estruturas condutoras termina, pelo menos nos Campos do Tabolado, por aceder a litologias muito fracturadas (como os filitos muitos fracturados atravessados por CC3 – zona 2) instaladas entre os 25 a 60 m de profundidade

(profundidades que podem sofrer variações significativas fora dos Campos do Tabolado), onde se misturam com águas "normais" subsuperficiais que aí afluem provenientes de circulação em sentido descendente, culminando numa zona com menor ou maior mistura de águas e, consequentemente, com maior ou menor temperatura, de acordo com a respectiva maior ou menor proximidade a F1 ou (possivelmente) a F2 que, devido aos elevados caudais circulantes e potencial hidráulico associados às águas minerais circulantes nessas falhas, dificultará ou mesmo impossibilitará o acesso de águas "normais" nas imediações da sua intercepção com as mencionadas litologias muito fracturadas que definem a zona 2.

Desta forma, as águas que circulam nos filitos muito fracturados compreendem evolução lateral crescente do gradiente geotérmico à medida que se avança pela formação no sentido de F1 ou (possivelmente) F2, variando a temperatura das águas aí presentes pelo menos entre 48 e 69 °C (de acordo com os registos efectuados em AC1 e CC3 no período de construção de CC3, mas poderá descer abaixo dos 48 °C em locais mais afastados de F1 que CC3).

A nível circulatório, nos filitos muito fracturados, última armadilha de destaque por onde a água mineral circula antes de emergir na cidade de Chaves, para além da circulação ascensional, as águas aí circulantes, possivelmente, movimentar-se-ão também lateralmente pela considerável rede de fracturas interconectadas, no sentido de ocupar os vazios da formação e aceder a descontinuidades que facilitem a sua acensão daí para a superfície.

A partir dos filitos muito fracturados, a água mineral, já (na generalidade) com alguma mistura de águas normais e menor temperatura relativamente aos níveis circulados das formações subsequentes, migra ascendentemente para a superfície atravessando materiais decompostos e aluviões, que embora compreendam meios associados a porosidade intersticial, serão as descontinuidades vestigiais aí demarcadas os meios de circulação preferencial na condução de água mineral à superfície, ou seja, às diversas emergências ocorrentes na Cidade de Chaves, prevendo-se, também para as emergências, o acréscimo de caudais e temperatura com a proximidade ao afloramento de F1 ou (possivelmente) F2.

Nas aluviões, e talvez nos filitos decompostos (não há dados que confirmem), a par da ascensão de água mineral, ocorre ainda circulação de águas "normais" provenientes de recarga superficial em locais de cota topográfica superior á zona de descarga que, contrariamente às águas minerais, fluem descendentemente e lateralmente. O seu movimento descendente culmina no afluxo aos filitos muito fracturados, onde se misturam com as águas minerais, enquanto a circulação lateral terminará o seu curso com a descarga no Rio Tâmega.

Estas águas "normais" contrastam com a água "tipo Chaves" não só pelo sentido de circulação mas também pela temperatura e condutividade associada, registando temperatura na ordem dos 18 °C, equiparada à temperatura ambiente, e cerca de 370 µS/cm de condutividade, valor enquadrado nas águas ditas normais.

Num contexto geral, no percurso realizado à escala da zona de descarga, a água mineral migra ascensionalmente até à superfície atravessando consequentemente granitos, materiais quártzicos, filitos e por fim aluviões, culminando na emergência à superfície na Cidade de Chaves.

A nível hidrodinâmico, o sistema hidromineral compreende um aquífero confinado, embora (pelo menos nos Campos do Tabolado) devido ao contacto do aquífero com a superfície através de inúmeras descontinuidades não o permita considerar puramente confinado.

Caracterizado pelas condições expostas no quadro 35, o aquífero compreende grande potencialidade a nível hidráulico e térmico, constituindo uma importante fonte de riqueza para a Cidade de Chaves e provável potencialidade para a expansão do seu aproveitamento para outros fins que não só o termalismo.

Quadro 35. Caracterização do aquífero mineral de Chaves na zona de descarga.

Caracterização geral e apróximada do aquífero mineral de Chaves para a zona de descarga nos Campos do Tabolado		
Transmissividade	**1ª Ordem**	469 a 624 m^2/dia
	2ª Ordem	252 a 384 m^2/dia (sendo o valor 384 m^2/dia, muito provavelmente, o que melhor a traduz)
Coeficiene de armazenamento		7,5E-3 (remete para a classificação do aquífero como semiconfinado)
Temperatura		70 a 77 ºC
Condutividade		2500 a 3000 µS/cm

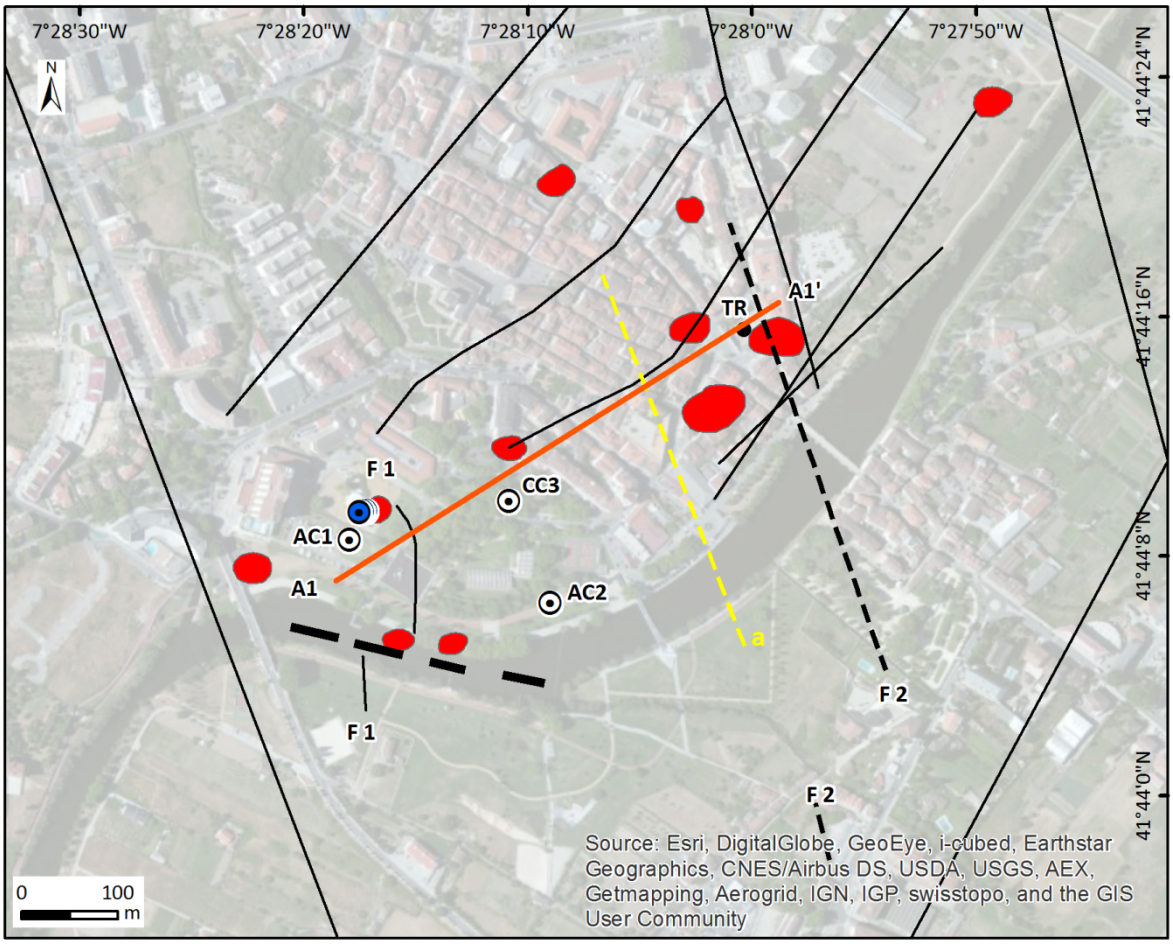


Figura 56. Implantação da fracturação, emergências, captações e corte A1-A1' na zona de descarga.

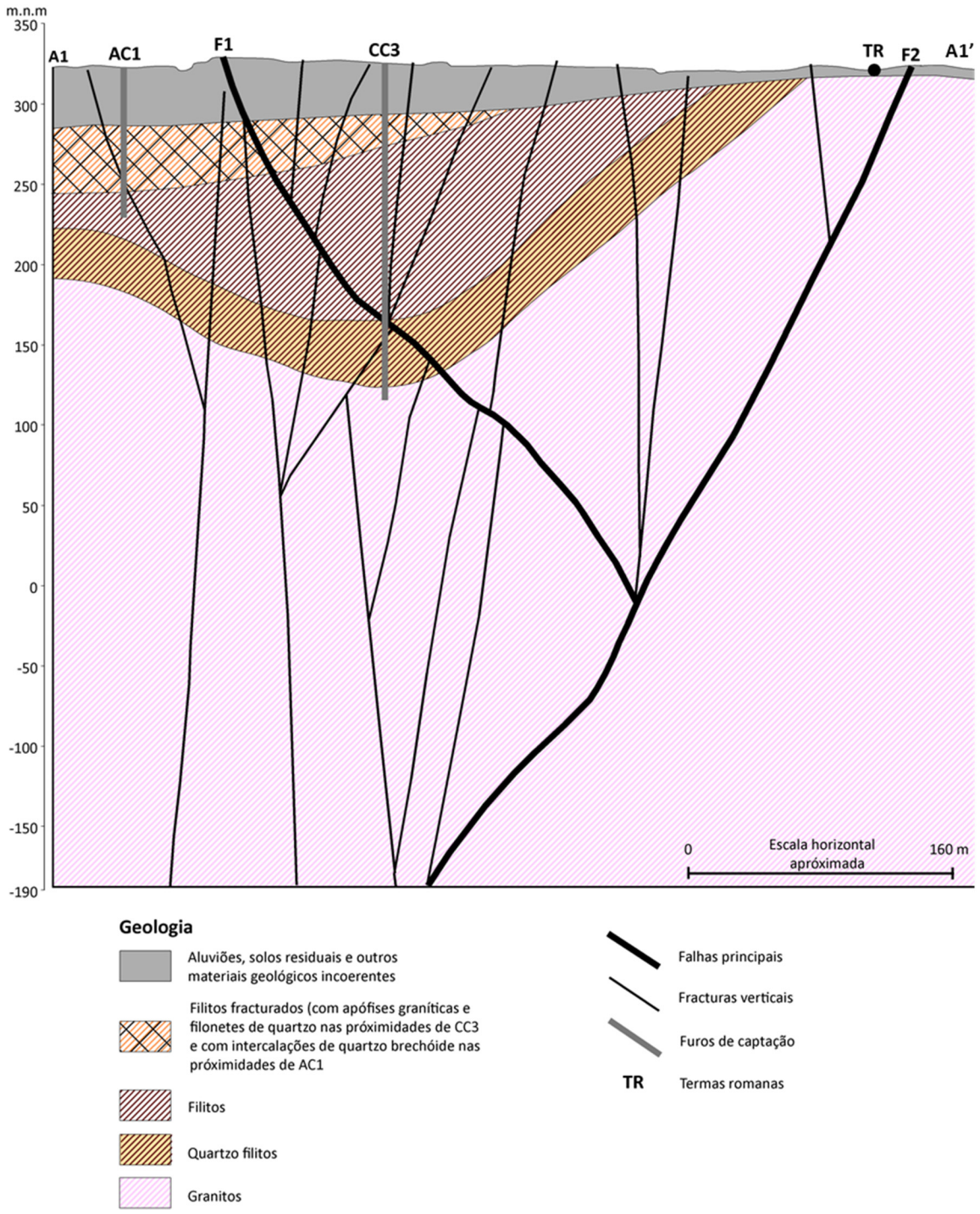
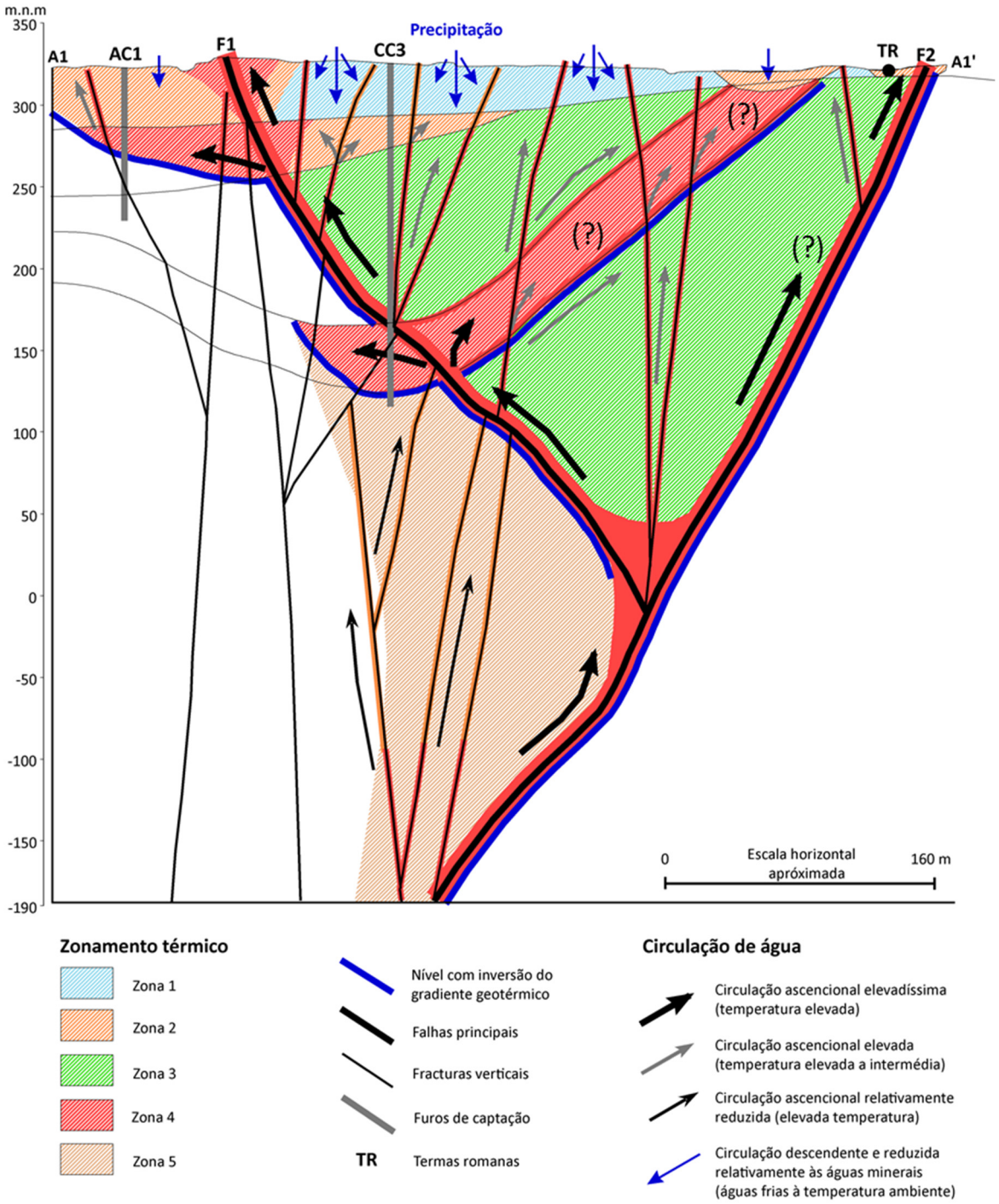


Figura 57. Esboço do modelo conceptual geológico para a zona de descarga de água mineral na cidade de Chaves.



Zonamento térmico	
Zona	**Caracterização**
1	Águas normais - frias (á temperatura ambiente)
2	Águas de mistura, com temperaturas intermédias
3	Águas minerais com evolução crescente da temperatura com a profundidade
4	Águas minerais com o maior potencial a nível térmico (>60 ºC) e de caudais
5	Águas minerais com elevada condutividade e menor temperatura relativamente á zona 4 (inversão do gradiente geotérmico), apresentando, possivelmente, evolução decrescente da temperatura com a profundidade (exceptuando a elevada profundidade devido á aproximação a F2, onde circularão águas de elevado potencial térmico)

Figura 58. Modelo conceptual hidrogeológico para a zona de descarga de água mineral na cidade de Chaves.

14. Propostas futuras

Durante a realização do presente documento são apresentadas várias conjecturas de acordo com as informações provenientes da construção da captação CC3 e dos ensaios a ela associados. Contudo, embora à luz dessas informações muitos aspectos se afigurem representativos da real circulação das águas minerais de Chaves na zona de descarga, não existem dados suficientes para afirmar piamente algumas das suposições expostas ao longo de todo o documento. Dessa forma, para o futuro, aconselha-se a realização de trabalhos complementares que confirmem a conceptualização do modelo de circulação proposto e dissipem algumas das dúvidas aqui apontadas no decorrer da presente investigação, atribuindo maior solidez ao modelo e, até mesmo, a actualização do mesmo.

Para que as propostas futuras aqui mencionadas assumam menores custos, um possível plano de trabalhos para a concretização das mesmas poderá decorrer associado a acções futuras possivelmente necessárias, como por exemplo:

- Aquando da execução novas sondagens, que futuramente poderão ser realizadas segundo a necessidade de substituir alguma das captações existentes, de aumentar caudais de exploração ou de concretizar um possível plano de aproveitamento geotérmico para a Cidade de Chaves;
- Ou, aquando da realização de trabalhos adicionais em CC3, AC2 e AC1 ou em intervenções inerentes à manutenção periódica das captações.

Nesse sentido, apontam-se em seguida alguns trabalhos a considerar futuramente para aperfeiçoar o conhecimento do modelo de circulação e a respectiva indexação a possíveis acções futuras a desenvolver.

a) Propostas de estudo a desenvolver aquando da realização de novas captações

- Cartografia a grande escala das falhas F1, F2 e falhas cortando F1 e/ou F2 transversalmente na cidade de Chaves, que poderão constituir potenciais armadilhas hidrogeológicas de relevo;
- Realização medições de níveis, temperatura, condutividade eléctrica e pH nas várias emergências presentes na cidade de Chaves e consequentemente agrupá-las segundo semelhanças entre si, por forma a estipular um zonamento hidromineral superficial comparativo com as falhas F1 e (a suposta) F2, com a finalidade de investigar a interacção entre a fracturação da zona e, principalmente, verificar ou contestar a influência de F2 no aglomerado de emergências situadas no quadrante NE do campo hidrotermal;
- Execução de perfis sísmicos que permitam averiguar a presença em profundidade de F2 a Norte do Rio Tâmega e o respectivo local de afloramento por forma a confirmar a sua suposta influência na zona de descarga, tanto sobre F1 como sobre o aglomerado de emergências localizado no quadrante Este da zona de descarga;
- Execução de perfis sísmicos que permitam identificar o desenvolvimento e contacto em profundidade de falhas (NNE) transversais a F1 e F2 na Cidade de Chaves, às quais, através dos trabalhos de cartografia, se identifique relação com emergências na zona de descarga;
- A confirmar-se a presença de F2 a Norte do Tâmega, indica-se a realização de uma sondagem na zona de descarga com profundidade suficiente para interceptar F2, permitindo posteriormente analisar o seu papel na ascensão de água mineral e a possível alimentação de F1 a partir de F2.

Além de F2, a referida sondagem deverá ainda interceptar os níveis associados aos materiais quártzicos e aos supostos granitos apontados pela análise da amostragem de CC3, desta feita concretizando carotagem contínua durante a travessia dessas litologias, com a intenção confirmar a respectiva presença e profundidade aferida através de CC3, visto que os carotes constituirão fonte de análise de muito melhor qualidade face aos cuttings resultantes de CC3, que constituem amostras de difícil observação;

- A realizar-se uma sondagem com o intuito de posterior transformação em captação, indica-se a sua localização no alinhamento de intercepção entre F1 e F2 (figuras 56 e 58), que com base nos perfis sísmicos actuais, mais concretamente em PSX-1 (anexo VIII), estima-se que tal ocorra a cerca 360 m de profundidade.
  A referida localização conciliará também os objectivos do ponto anterior, pois é expectável que a intercepção entre F1 e F2 ocorra já no seio dos supostos granitos, e terá a vantagem de captar uma armadilha de elevadíssimo potencial, dado que na intercepção entre F1 e F2, falhas que se prevêem constituir as principais estruturas circulantes à escala da zona de descarga, é previsível a ocorrência de uma zona de elevada fracturação com elevados caudais e temperatura associados;
- A realizarem-se sondagens nos Campos do Tabolado, indica-se o seu desenvolvimento pelo menos até à intercepção de F2 com o intuito de analisar a inversão geotérmica verificada (em AC2 e CC3) abaixo da cota de F1 e averiguar a suposição de tal se relacionar com lenta ascensão por fracturas subverticais secundárias a partir de F2;
- A confirmar-se o possível desenvolvimento da falha F2 nas proximidades do aglomerado de emergências localizado no quadrante NE do campo hidromineral, aquando da realização de sondagens (de índole hidrogeológica ou outra) nessa área, principalmente caso se preveja a intercepção de F2 pelas sondagens, aconselha-se que os trabalhos sejam acompanhados de ensaios de caudal (pelo menos expeditos) que averigúem a sua influência hidráulica sobre as emergências termais e, se possível, sobre as captações;
- Caso se realizem sondagens (hidrogeológicas ou não) em locais que comtemplem as falhas cartografadas na cidade de Chaves contactando F1 e F2 transversalmente, aconselha-se a realização de ensaios de caudal (pelo menos expeditos) que permitam aferir a sua influência sobre o sistema de descarga e a sua relação hidráulica com F1 e F2;
- Genericamente, na realização de futuras sondagens hidrogeológicas, para além dos habituais ensaios inerentes à sua construção, que compreenderão muito provavelmente estudos similares aos realizados em CC3, indicam-se ainda outros que poderão fornecer importantes informações adicionais:

i. Execução de ensaios de molinetes em regime natural (sem bombagem) para averiguar a possível circulação vertical de água entre os níveis circulados atravessados, resultando daí conclusões válidas quanto à diferença de potencial hidráulico e contribuição/recarga vertical através da sondagem entre níveis circulados inscritos a diferente profundidade, ou até mesmo concluir sobre a possibilidade de recarga lateral de certos níveis.

ii. Com recurso a obturadores, agrupar e isolar níveis circulados com semelhantes características hidráulicas e físico-químicas e realizar ensaios de caudal expeditos nos níveis obturados, por forma a averiguar pormenorizadamente a sua influência nos restantes níveis circulados da sondagem, nas captações já construídas, e nas emergências termais localizadas na Cidade de Chaves;

iii. Realizar ensaios de caudal que incutam rebaixamentos nas captações existentes de modo averiguar a interacção entre captações e aferir os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero mineral de forma consistente.

b) Propostas de estudo a desenvolver no decorrer de trabalhos de manutenção das captações existentes

- Será interessante que, em trabalhos futuros que inflijam grandes caudais de extracção nas captações existentes, como trabalhos de limpeza e desenvolvimento, sejam executadas medições de níveis, pH, condutividade e temperatura nas restantes captações para averiguar o comportamento do aquífero na zona de descarga, a interacção entre as captações e estimar os parâmetros hidrodinâmicos do aquífero com elevada confiança (e a sua evolução no tempo por comparação com os resultados do presente estudo ou outros já realizados).

Para tal, é importante estabelecer um plano de extracção que imponha rebaixamentos nas restantes captações e compreenda o registo dos respectivos rebaixamentos no tempo, de forma a possibilitar o cálculo dos parâmetros hidrodinâmicos através de diversos métodos utilizando as captações como piezómetros, o que permitirá discutir e corroborar os parâmetros hidrodinâmicos resultantes de diferentes métodos.

- De acordo com o averiguado nesta investigação (tópico 12.6. Ensaios de caudal), supõe-se que caudais de extracção muito baixos não promovam o máximo potencial térmico de CC3, e caudais de extracção exageradamente elevados promovem o decaimento térmico das águas extraídas (pelo menos em AC2), pelo que haverá um caudal ideal para potenciar ao máximo a temperatura em CC3.
  Desta feita, Será interessante realizar ensaios de caudal com períodos de tempo e caudais de extracção evolutivos (incluindo períodos de longa duração e caudais excessivos), por forma a atestar as suposições e promover o maior potenciamento geotérmico na captação através do escrutínio dos caudais e da frequência de extracções que promovam o melhor aproveitamento térmico. Esta proposta poderá ser realizada a curto prazo, aproveitando-se para tal a execução dos ensaios prolongados de aferição do caudal de exploração inerentes aos normais procedimentos de avaliação de novas captações de água mineral.

15. Conclusão

As heterogeneidades que constituem o meio de circulação subterrâneo conferem grande dificuldade na proposição de um modelo conceptual. De facto, como exposto diversas vezes pela bibliografia, a construção de um modelo conceptual é constantemente corrigido e aperfeiçoado à luz de novos dados. A investigação aqui realizada é prova disso, surgindo novos conceitos de circulação e divergentes suposições à medida que se analisava informação proveniente dos diversos trabalhos realizados em CC3. Ainda assim, a reunião, análise e integração de toda essa informação permitiu despistar alguns desvios e lançar conjecturas a considerar, sendo provável que o modelo conceptual apresentado, que estabelece uma conceptualização de base para toda a zona de descarga e outra de elevado pormenor para os Campo do Tabolado, constitua, pelo menos à escala dos Campos do Tabolado, uma proposta sólida e enquadrada com a real circulação das águas minerais de Chaves na zona de descarga. Porém, não se deve esquecer a sua susceptibilidade de actualização de acordo com as propostas futuras mencionadas, cujos resultados permitirão conferir maior solidez ao modelo configurado e conceder-lhe maior especificidade, tornando-o ainda mais detalhado e mais abrangente, principalmente no que concerne à envolvente do afloramento de F2.

Parte 5

Bibliografia

16. Referências bibliográficas

Agência Portuguesa do Ambiente (2003). Portaria 285/2003, de 1 de Abril; nome do site: Agência portuguesa do ambiente; consultado em: 27-12-2014; URL: http://siddamb.apambiente.pt/publico/documentoPublico.asp?documento=25913&versao=1

Agripro Ambiente Consultores, S.A. (2009). Aproveitamento hidroeléctrico do Fridão - Estudo de impacte ambiental

Aires-Barros L. (1991). Alteração e alterabilidade de rochas. Instituto Nacional de Investigação Científica, LNEC, Lisboa. 384 pp.

Almeida, C., Mendonça, J. J. L., Jesus, M. R., Gomes, A. J. (2000). Sistemas aquíferos de Portugal Continental - Sistema aquífero: Veiga de Chaves. Snirh - Sistema nacional de informação de recursos hídricos, Lisboa.

Assaad F.A., LaMoreaux P.E., Hughes T.H., Wangfang Z. & Jordan H. (2004). Field methods for geologists and hydrogeologists. Springer-Verlag, 420 pp.

Bateira, C., Pereira, S., Martins, L., Santos, M. (2007). Plano regional de ordenamento do território do Norte - PROT-n. Universidade do Porto Departamento de Geografia, Porto.

Bisson R.A. & Leher J.H. (2004). Modern groundwater exploration: discovering new water resources in consolidated rocks using innovative hydrogeologic concepts, exploration, drilling, aquifer testing and management methods. Wiley Interscience, New Jersey, 309 pp.

Cabral, F.C. (2003). Ciclovia Chaves-Vila Real arquitectura Paisagista. Instituto Superior de Agronomia, lisboa.

Cagido, P. (2012). Água termal de Chaves; nome do site: Procurando soluções para os problemas; consultado em: 06-10-2015; URL: http://cagido.blogs.sapo.pt/tag/chaves

Capucci, E., Martins, A. M., Mansur, K. L., Monsores, A. L. (2001). Poços tubulares e outras captações de água subterrâneas - Orientação aos usuários.

Carreira, P. M., Marques, J. M., Graça, R. C., Aires-Barros, L. (2008). Radiocarbon applications in dating "complex" hot and cold CO2-rich mineral water systems: A review of case studies ascribed to the northern Portugal. Applied Geochemistry, 23(10):2817–2828.

Carvalho J.M. (1973). O Dimensionamento de captações de águas subterrâneas. Memórias do Instituto de Investigação Científica de Moçambique, Lourenço Marques, 9 (Série B): 145-176.

Carvalho J.M. (1984). A metodologia de prospecção e pesquisa de águas subterrâneas em formações cristalinas e cristalofilinas portuguesas. Volume d'Hommage au Géologue G. Zbyszewski, Éditions Recherche sur les Civilisations, Paris. pp. 137-153.

Carvalho J.M. (1996). Mineral water exploration and exploitation at the Portuguese Hercynian Massif. Environmental Geology, 27:252-258.

Carvalho J.M. (2006). Prospecção e pesquisa de recursos hídricos subterrâneos no Maciço Antigo Português: linhas metodológicas. Universidade de Aveiro, 292 pp. + anexos (tese de doutoramento / PhD Thesis).

Carvalho, J. M., 2000. As Aguas Subterrâneas no Abastecimento de Núcleos Urbanos do Norte de Portugal. In: Samper, J.; Leitão, T.; Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.). Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. Publicaciones ITGE, Madrid. pp. 237-259.

Carvalho, J.M. (2014). Pesquisa e captação de água subterrânea nas Caldas de Chaves Concessão Hidromineral HM-9 Caldas de Chaves.

Carvalho J.M., Plasencia N., Chaminé H.I., Rodrigues B.C., Dias A.G. & Silva M.A. (2000). Recursos hídricos subterrâneos em formações cristalinas do Norte de Portugal. In: Samper J, Leitão T, Fernández L & Ribeiro L (eds.) Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos

de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. ITGE, Madrid. pp. 163-171.

Carvalho, J. Martins; Silva, L. F. (1988); Recursos e metodologias de desenvolvimento dos pólos geotérmicos de trás-os-montes

Carvalho J.M. & Chaminé H.I. (2004). O papel da fracturação e da alteração profunda em estudos de prospecção hidrogeológica: os casos das regiões de Oliveira de Azeméis e de Fafe (Maciço Ibérico, NW de Portugal). Geociências, Revista Universidade de Aveiro, 16(1/2): 13-31.

Carvalho J.M., Chaminé H.I. & Plasencia N. (2003). Caracterização dos recursos hídricos subterrâneos do maciço cristalino do Norte de Portugal: implicações para o desenvolvimento regional. In: Portugal Ferreira M (coord.) A Geologia de Engenharia e os Recursos Geológicos: recursos geológicos e formação. Volume de Homenagem ao Prof. Doutor Cotelo Neiva, Imprensa da Universidade, Série Investigação, Coimbra. 2: 245-264.

Carvalho J.M., Chaminé H.I., Afonso M.J., Espinha Marques J., Medeiros A., Garcia S., Gomes A., Teixeira J. & Fonseca P.E. (2005). Productivity and water cost in fissured-aquifers from the Iberian crystalline basement (Portugal): hydrogeological constraints. In: López-Geta JA, Pulido Bosch A & Baquero Úbeda JC (eds.) Water, mining and environment. Book Homage to Professor Rafael Fernández Rubio. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid, pp. 193-207.

Carvalho J.M., Espinha Marques J., Afonso M.J. & Chaminé H.I. (2007). Prospecção e pesquisa de recursos hidrominerais e de água de nascente no Maciço Antigo Português. Boletim de Minas, 42(2): 161-196.

CFCFF – Committee on Fracture Characterization and Fluid Flow (1996). Rock fractures and fluid flow: contemporary understanding and applications. National Research Council, National Academy Press, 568 pp.

Chaminé H.I., Carvalho J.M., Afonso M.J., Teixeira J., Freitas L. (2013). On a dialogue between hard-rock aquifer mapping and hydrogeological conceptual models: insights into groundwater exploration. European Geologist Magazine, Journal of the European Federation of Geologists, 35: 26-31.

Coelho, R.A.C., Miranda, L.F.S. (2007-2008). Cartografia de risco; nome do site: Chaves mapasbeta; consultado: 28-01-2015; URL: https://sites.google.com/site/chavesmapas/chavesmapasbeta-cartografiaderisco

Coelho, R.A.C., Miranda, L.F.S. (2007-2008). Concelho de Chaves; nome do site: Chaves mapasbeta; consultado: 26-01-2015; URL: https://sites.google.com/site/chavesmapas/concelhodechaves

Coelho, R.A.C., Miranda, L.F.S. (2007-2008). Cartografia física do concelho de Chaves. Nome do site: Chaves Mapasbeta; consultado: 23-01-2015; URL: https://sites.google.com/site/chavesmapas/cartografia

Coelho, R.A.C., Miranda, L.F.S. (2007-2008). Termas de Chaves; nome do site: Chaves Mapas beta; consultado em: 27-12-2014; URL: https://sites.google.com/site/chavesmapas/termas-caldas

Costa filho, W. D., Galvão, M. J., Barbosa de Lima, J., Leal, O. (1998). Noções básicas sobre poços tubulares.

Cruz J.F.A. (2002). Engarrafamento de águas minerais naturais e de nascente e termalismo em 2001. Boletim de Minas, Lisboa, 39 (2): 87-108.

Custódio E. & Llamas M.R. (2001). Hidrologia subterrânea. Segunda edición corregida. Ediciones Omega, SA, Barcelona. 2350 pp.

Diário Actual (2012). No Alto Tâmega só Ribeira de Pena não se pronunciou; nome site: Diário actual; consultado em: 20-12-2014; URL:http://diarioatual.com/?p=72874

Diário de Trás os Montes (2013). Termas de Chaves e Vidago – Chaves quer ser o maior destino termal português; nome do site: Diário de Trás os Montes; consultado em: 06-10-2015; URL: http://www.diariodetrasosmontes.com/noticias/complecta.php3?id=20065

Duque, M. R. A., Santos, F. M., Victor, L. A. M. (1997). Heat flow and deep temperatures in the Chaves Geothermal System, Northern Portugal. Pergamon.

Driscoll F.G. (1986). Groundwater and Wells. Johnson Division. 1089 pp.

Feitosa, F. A. C., Filho, W. D. C. (1998). Execução de testes de bombeamento em poços tubulares - Manual prático de orientação.

Feitosa, F. A. C., Filho, J. M. (2000). Hidrogeologia - conceitos e aplicações. Serviço geológico do Brasil.

Ferreira, J. M., Brito, A., Rodrigues da Silva, A., Sampaio, J., Tavares, T. (2012). Manual de Boas Práticas para Execução e Exploração de Furos de Captação de Águas Subterrâneas. Instituto Português da Qualidade.

Fetter C.W. (2014). Applied hydrogeology. 4th ed., Pearson new international ed., 612 pp.

Fitts C.R. (2013). Groundwater science. 2nd ed., Academic Press, Waltham, MA, 692 pp.

Flodim Sarl (2014). Conductivity/Fllometer log - Well CC3. France.

Flodim Sarl (2014). Composit log - Well CC3. France.

Geocaching, (2011). As Termas de Chaves; nome do site: Geocaching; consultado em: 27-12-2014; URL: http://www.geocaching.com/seek/cache_details.aspx?wp=GC2Q8GX&title=as-termas-de-chaves

Geologia no verão (1999). Geomorfologia da região de Chaves, um geomonumento; consultado em: 23-01-2015: URL: http://www.cienciaviva.pt/veraocv/geologia/geo2002/materiais/geo14.pdf

GeothermEx, Inc., (2010). Resource evaluation of the Chaves geothermal prospect. GeothermEx, Inc, California.

Gomes, J. E. F. (2006). Caldas de Chaves; consultado em: 27-12-2014; URL: http://cidadechaves.no.sapo.pt/Cidade/Termas/termas1.htm

González de Vallejo L.I., Ferrer M. (2011). Geological engineering. CRC Press, Taylor-Francis group, 725 pp.

Graça, H. (2012). Águas minerais naturais e de nascente - Execução de uma captação. APIAM - Associação Portuguesa dos Industriais de Águas Minerais Naturais e de Nascente.

Grade, J., Moura, A. C. (1982). Bacia de Chaves: Estudo prospectivo dos seus corpos argilosos. Geonovas

GSE [Geological Society Engineering Group Working Party Report] (1995). The description and classification of weathered rocks for engineering purposes. Quarterly Journal of Engineering Geology, Geological Society, 28(3):207-242.

Instituto português do mar e da atmosfera – ipma (2015). Área educativa - Clima de Portugal Continental; nome do site: Instituto português do mar e da atmosfera - ipma; consultado em: 26-01-2015; URL: http://www.ipma.pt/pt/educativa/tempo.clima/index.jsp?page=clima.pt.xml

Instituto português do mar e da atmosfera – ipma (2015). Normais climatológicas; site: Instituto português do mar e da atmosfera - ipma; consultado: 26-01-2015; URL: https://www.ipma.pt/pt/oclima/normais.clima/

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1978). Suggested methods for the quantitative description of discontinuities in rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 15, 6: 319-368.

ISRM – International Society for Rock Mechanics (1981). Basic geotechnical description of rock masses. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geom. Abstr., 18: 85-110.

Jesus, J. (2007). Os Recursos geotermais em CHAVES; nome do site: GEOTHERMAL; consultado em: 27-12-2014; URL: http://geothermal.blogs.sapo.pt/3410.html

Jorba, F, A.; Rocha, G. A. (2007). Manual de operação e manutenção de poços. Departamento de águas e energia eléctrica, São Paulo.

Kresik N., Mikszewski A. (2013). Hydrogeological conceptual site models: data analysis and visualization. CRC Press, Boca Raton, FL, USA.

Lloyd J.W. (1999). Water resources of hard rock aquifers in arid and semi-arid zones. Studies and Reports in Hydrology, 58, UNESCO, Paris, 284 pp.

Machado, J. M. G. S. (2009). Ocorrências hidrominerais do NE de Portugal Continental: Inventariação, sistematização e aproveitamentos didáticos. Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro, Vila Real.

Machado, C., Bento, J., Machado, J., Rodrigues, J., Magalhães, M., Bessa, P., Ferreira, P. (2006). Plano regional de ordenamento florestal do Barroso Padrela. Direcção Geral dos Recursos Florestais – DGRF

Marques, J. M., Cabeleira, M. M., Aires-Barros, L. (2000). Interacção Entre as Águas Superficiais e Profundas da Região de Chaves. In: Samper, J.; Leitão, T.; Fernández, L. & Ribeiro, L. (eds.). Jornadas Hispano-Lusas sobre 'Las Aguas Subterráneas en el Noroeste de la Península Ibérica'. Textos de las Jornadas, Mesa Redonda y Comunicaciones. A Coruña. AIH-Grupo Español & APRH. Publicaciones ITGE, Madrid. pp. 237-259.

Martins, B. M. S. C. (2009). A depressão de Régua-Chaves-Verín, contributo para a análise de ravinamento. Universidade de Coimbra, Coimbra.

OCSA Prospecciones y Estudios S.L. (2012). PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES. TOMO 1: Trabalho de campo, interpretação e resultados. Madrid. 61pp.

Oliveira, V. (2011). Fonte do Povo - Termas de Chaves – Portugal; nome do site: Flickr; consultado em: 06-10-2015; URL: https://www.flickr.com/photos/vitor107/6049205808

Oliveira, A. S., Almeida, S. M. S., Reis, A. R., Alencoão, A. M. P., Sousa, L. M. O., Lourenço, J. M. M. (2015). Águas minerais de Trás-os-Montes e Alto Douro (NE de Portugal): sistematização e aproveitamento. Imprensa da Universidade de Coimbra, Coimbra.

Pedrosa, Y., Pereira, A. P., Sampaio, J. (2011). Notícia explicativa da folha 6-D, Vila Pouca de Aguiar. LNEG - Laboratório nacional de energia e geologia, Lisboa.

PH Neutro. Concelho de Chaves; nome do site: Site oficial Municipio de Chaves; consultado em: 26-01-2015; URL: http://www.chaves.pt/Default.aspx?ID=31

Pinheiro, A. J. A. (2011). Ocorrências hidrominerais associadas ao acidente Gerês-Lobios: conceptualização do funcionamento hidrogeológico do sistema hidrotermal. Universidade do Minho. (tese).

Pires de Carvalho, D. (2002). Valorização da captação tipo furo: Desenvolvimento e Ensaios. Laboratório nacional de energia e geologia; Consultado em: 30-05-2014; URL: http://www.lneg.pt/CienciaParaTodos/edicoes_online/diversos/prosp_pesq/texto; 30-05-2014

Pita, P. J. B. S., Ramos, J. M. F., Pereira, A. P. T., Torgal, M. C. G. T. (2009). Plano regional de ordenamento do território do norte - PROT-Norte. Comissão de coordenação da região do norte, Porto.

Potilho, E. S. M. (2013). Avaliação da qualidade ecológica do Rio Tâmega. Faculdade Ciências Universidade do Porto, Porto.

Ramalho, E. C., Marques da Silva, M., Correia, A. (2009). Diagrafias aplicadas à Hidrogeologia. Palimage.

Ribeiro A., Munhá J., Dias R., Mateus A., Pereira E., Ribeiro L., Fonseca P.E., Araújo A., Oliveira J.T., Romão J., Chaminé H.I., Coke C. & Pedro J. (2007). Geodynamic evolution of the SW Europe Variscides. Tectonics, 26, TC6009, 24 pp.

Ribeiro, F. (2005). Termas, anos 30/40; nome do site: Chaves antiga; consultado em: 06-10-2015; URL: http://chavesantiga.blogs.sapo.pt/2005/12/

Ribeiro, F. D. C. (2007). Chaves - Termas; nome do site: Chaves, olhares sobre a cidade; consultado em: 27-12-2014; URL: http://chaves.blogs.sapo.pt/160987.html

Ribeiro, F. (2008). Termas Romanas; nome do site: Chaves, olhares sobre a cidade; consultado em: 27-12-2014; URL: http://chaves.blogs.sapo.pt/2008/10/22/

Ribeiro, L. (2009). Ecossistemas e bem-estar humano em Portugal.

Ribeiro, F. (2012). Afinal havia outra…; nome do site: Chaves, olhares sobre a cidade; consultado em: 20-12-2014; URL: http://chaves.blogs.sapo.pt/tag/freguesias

Rodrigues, O., Teixeira, A., Geraldes, A., Aguiar, C., Gonçalves, D., Fonseca, F., Castro, J. P., Castro, J., Fernandes, L. F., Cortêz, P., Figueiredo, T. (2006). Plano regional de ordenamento de Trás-os-montes e Alto Douro. Comissão de coordenação e de desenvolvimento.

Santos, F. A. M., Dupis, A., Afonso, A. R. A., Mendes-Victor, L. A. (1996). An audio-magnetotelluric survey over the Chaves geothermal field (NE Portugal). Geothermics, 25(3):389-406.

Santos, G. (2014). Discursos sobre a cidade; nome do site: Chaves, olhares sobre a cidade; consultado em: 06-10-2015; URL: http://chaves.blogs.sapo.pt/discursos-sobre-a-cidade-por-gil-1042803?thread=1792627

Scesi L., Gattinoni P. (2009). Water circulation in rocks. Springer, Dordrecht, 165 pp.

Singhal B.B.S., Gupta R.P. (2010). Applied hydrogeology of fractured rocks. 2nd ed., Springer, Dordrecht, 408 pp.

Sondalis Lda., Captações de Água (2014). Realização de sondagem de pesquisa e captação de água mineral nas termas de Chaves. 50pp.

STEPLAN - Estudos e projectos de engenharia e arquitectura, Lda (2005). Solverde hotel e casino de Chaves - Estudo de impacto ambiental

Sterrett R.J. (2007). Groundwater and Wells. 3rd Edition, Smyth Co Inc. 812 pp.

Struckmeier W.F. & Margat J. (1995). Hydrogeological maps: a guide and a standard legend. International Association of Hydrogeologists, Hannover, 17, 177 pp.

Teixeira J. (2011). Hidrogeomorfologia e sustentabilidade de recursos hídricos subterrâneos, Universidade de Aveiro, 505 pp. + anexos (Tese de Doutoramento).

Teixeira J., Chaminé H.I., Carvalho J.M., Pérez-Alberti A., Rocha F. (2013). Hydrogeomorphological mapping as a tool in groundwater exploration. Journal of Maps, 9(2): 263-273.

Termas de Chaves (2012). Termas de Chaves - As águas termais; nome do site: Termas de Chaves; consultado em: 27-12-2014; URL:http://www.termasdechaves.com/as-aguas-termais/

Termas de Portugal (2014). Estâncias termais; nome do site: Termas de Portugal; consultado em: 27-12-2014; URL: http://www.termasdeportugal.pt/estanciastermais/Termas-de-Chaves.

Anexos

17. Anexos

Enquadramento geográfico

O caso de estudo desenvolve-se no campo termal das Caldas de Chaves, empreendimento situado no campo do Tabolado, Freguesia de Santa Maria Maior, Concelho de Chaves (figura 1- Anexo II). A localização inscreve-se no sistema de coordenadas geográficas no ponto definido por 41°44’15.89"N (latitude); 7°28'17.18"W (longitude).

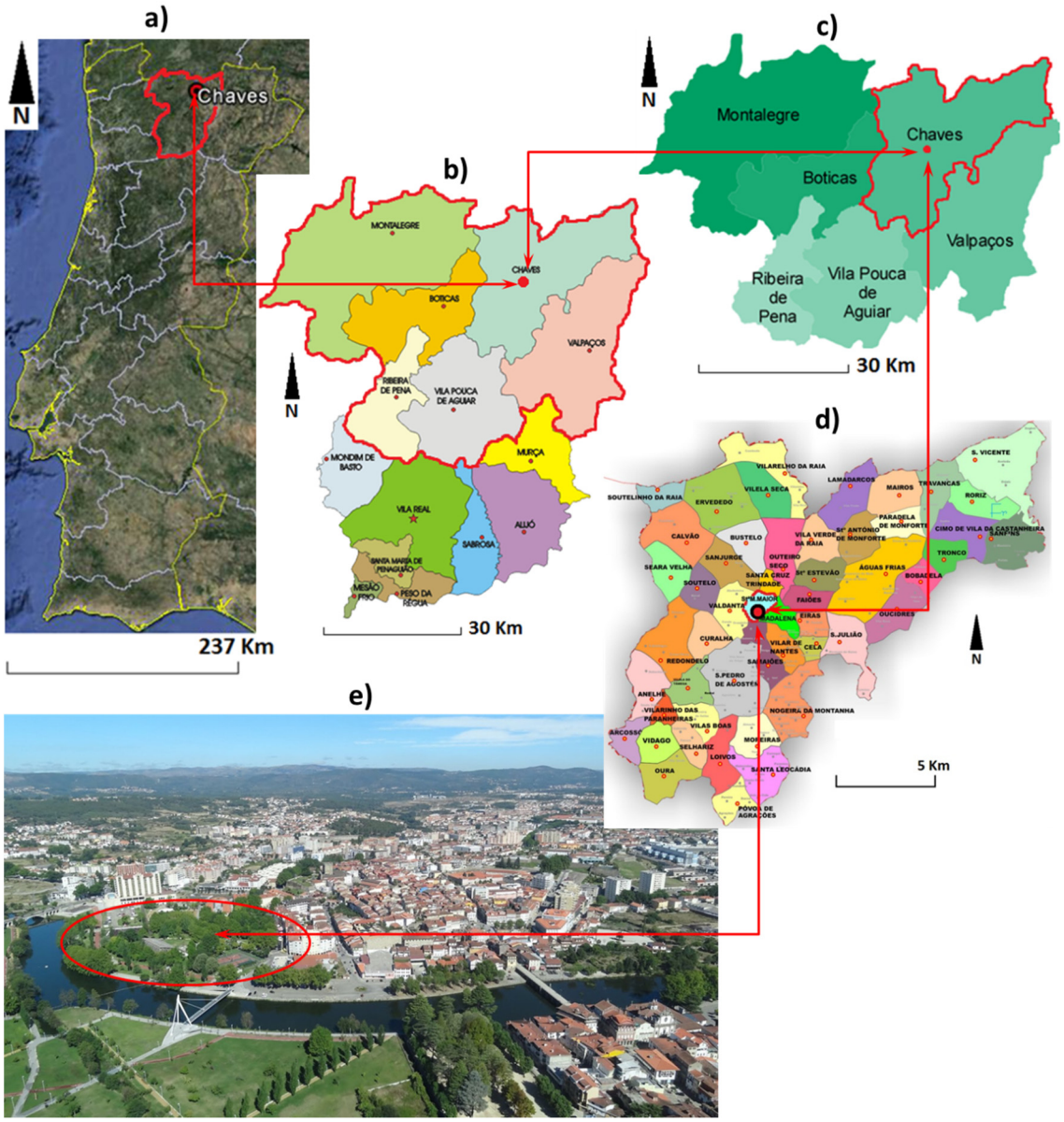


Figura 1. Enquadramento geográfico do local de estudo: a) Enquadramento do Distrito de Vila Real no panorama nacional; b) Enquadramento da sub-região do Alto Tâmega no panorama distrital; c) Enquadramento do município de Chaves na sub-região do Alto Tâmega; d) Enquadramento da freguesia de Santa Barbara no panorama municipal; e) Vista da cidade de Chaves com destaque dos Campos do Tabolado (adaptado de: Google earth; Ribeiro, 2008; Ribeiro, 2012; Diário actual, 2012).

O concelho de Chaves desenvolve-se ao longo do vale do rio Tâmega, que tem posição central no território concelhio e que é delimitado pelas encostas das terras altas em seu redor, a nascente e a poente, que chegam a atingir os 1000 metros de altitude.

Inscrito no mosaico da Carta Militar dos Serviços Cartográficos do Exército á escala 1/25.000 nas folhas nº 34 (Chaves – Norte) e 47 (Chaves – Sul) de 1998, o concelho abrange uma superfície territorial de 591,32 Km^2 distribuída por 39 freguesias. Tem como núcleos urbanos mais importantes a vila de Vidago e a cidade de Chaves, sede de concelho, que engloba 8 freguesias, das quais apenas uma totalmente urbana. O concelho tem uma população de 41.444 habitantes (censos 2011), ao que corresponde uma densidade populacional de 70,09 hab/km^2.

Implantado no extremo Norte do país, na fronteira com a Espanha, o concelho confina a Norte com a Galiza. Do lado português é limitado a Oeste por Montalegre e Boticas, a Sul por Vila Pouca de Aguiar e a Oriente pelos municípios de Valpaços e Vinhais, este último já do Distrito de Bragança.

Chaves é um dos seis concelhos da sub-região do Alto Tâmega, situada no distrito de Vila Real, região de Trás-os-Montes, assumindo uma posição estratégica no contexto do Noroeste Peninsular, reforçada pela confluência de importantes vias rodoviárias internacionais.

É servido, em acessos rodoviários (figura 2 – Anexo II), pela auto-estrada A24, que para Norte liga Chaves com Espanha através da A75 e por sua vez conecta á A52 que liga Vigo a Madrid, e para Sul liga Chaves com Viseu, Coimbra e Figueira da Foz, fazendo ligação em Vila Pouca de Aguiar com a A7, que liga Trás-os-Montes ao litoral.

A nível rodoviário nacional destaca-se a N103 que atravessa Chaves vinda de Bragança, seguindo depois para Braga (orientação Este-Oeste).

Chaves dista 415 km de Lisboa, 105 Km do Porto e 55 Km da capital de distrito, Vila Real. Encontra-se a menos de 8 Km da fronteira com a Galiza e a uma hora das duas grandes áreas metropolitanas da Euro Região: Porto e Vigo. Constitui-se por isso importante porta de saída e entrada para a Europa.

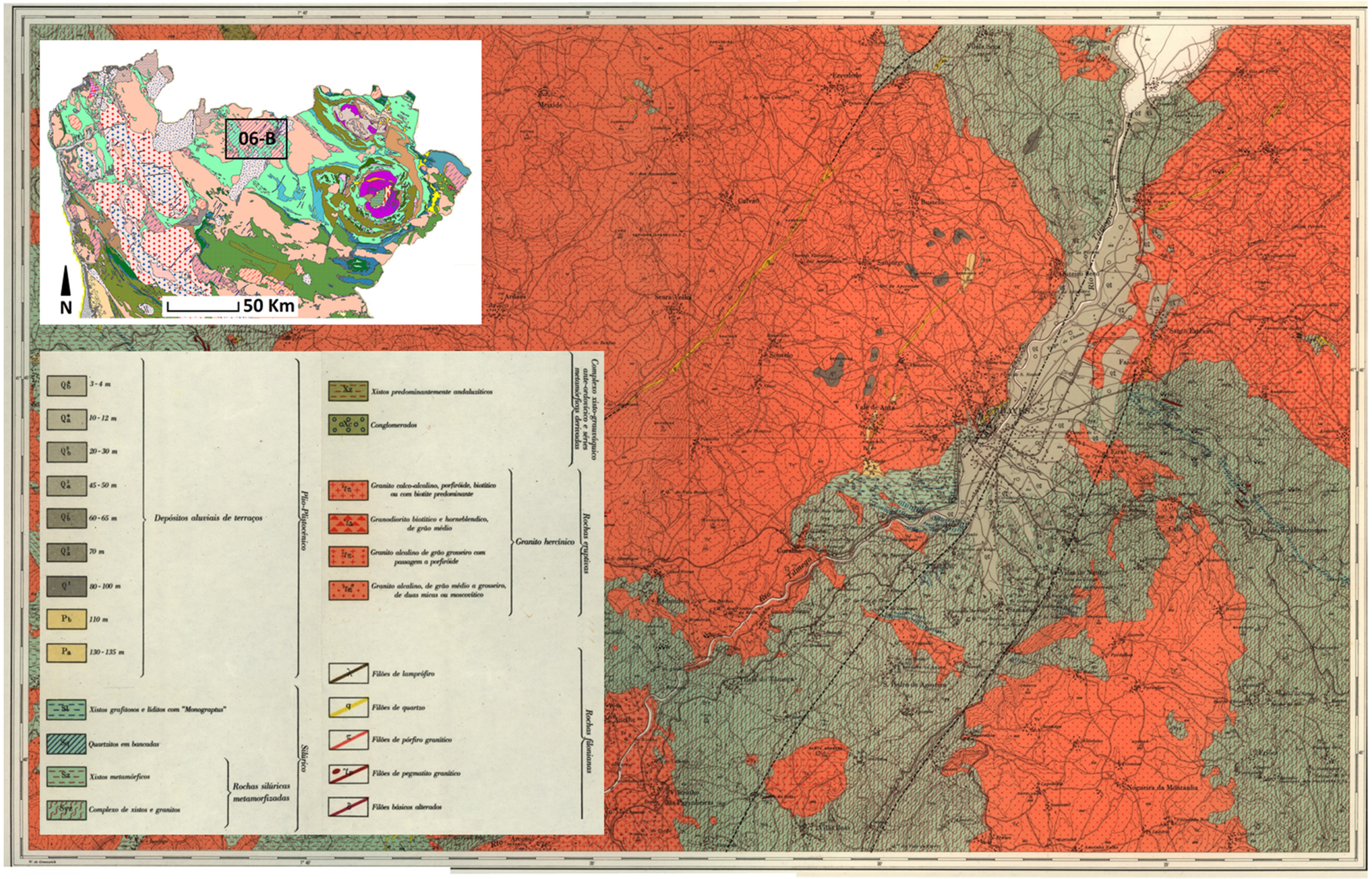
Além de acessos rodoviários dispõe ainda de um aeródromo 2 km a sudoeste da cidade.

Ligações:

- **A52 - Vigo / Ourense**
- **A7 - Guimarães**
  - Braga / Porto
- **A24 - Viseu**
  - Coimbra / Lisboa

Figura 2. Acessos rodoviários da cidade de Chaves. À esquerda, enquadramento no panorama nacional. À direita, esboço interpretativo da ligação da região á rede de auto-estradas (adaptado de: *Google maps*).

Folha 6-B (Chaves)


06-B
N
50 Km
Qb 3 - 4 m
Qa 10 - 12 m
Qb 20 - 30 m
Qa 45 - 50 m
Qb 60 - 65 m
Qa 70 m
Q 80 - 100 m
Pb 110 m
Pa 130 - 135 m
Depósitos aluviais de terraços
Plio-Plistocénico
Xistos grafitosos e lídites com "Monograptus"
Quartzitos em bancadas
Xistos metamórficos
Complexo de xistos e granitos
Rochas silúricas metamorfizadas
Silúrico
Xistos predominantemente andaluzíticos
Conglomerados
Complexo xisto-grauváquico ante-ordovícico e séries metamórficas derivadas
Granito calco-alcalino, porfiróide, biotítico ou com biotite predominante
Granodiorito biotítico e horneblendico, de grão médio
Granito alcalino de grão grosseiro com passagem a porfiróide
Granito alcalino, de grão médio a grosseiro, de duas micas ou moscovítico
Granito hercínico
Rochas eruptivas
Filões de lamprófiro
Filões de quartzo
Filões de pórfiro granítico
Filões de pegmatito granítico
Filões básicos alterados
Rochas filonianas
Mirtide
Calvão
Seara Velha
Vale de Anta
Ribeira
Rio Tuelo
Rio Tabuaça
Pedro de Agostinho
Nogueira da Montanha

Risco sísmico

A região não é das mais vulneráveis à actividade sísmica no contexto nacional. Com predominância de actividade de origem intraplaca (euro-asiática), a sismicidade varia de moderada a baixa, enquadrando-se numa zona de intensidade V (a menor do país) que se estende de Bragança até Montalegre e que se prolonga para Sul até Vila Real (figura 1 – Anexo IV) (Rodrigue, et al., 2006).

Na região de Chaves, a grande maioria dos eventos compreende intensidades na gama de 2 a 4 (Escala de Mercalli) e profundidades de 0 a cerca de 30 km, embora eventos históricos de maior magnitude tenham ocorrido na região (GeothermEx, Inc., 2010).

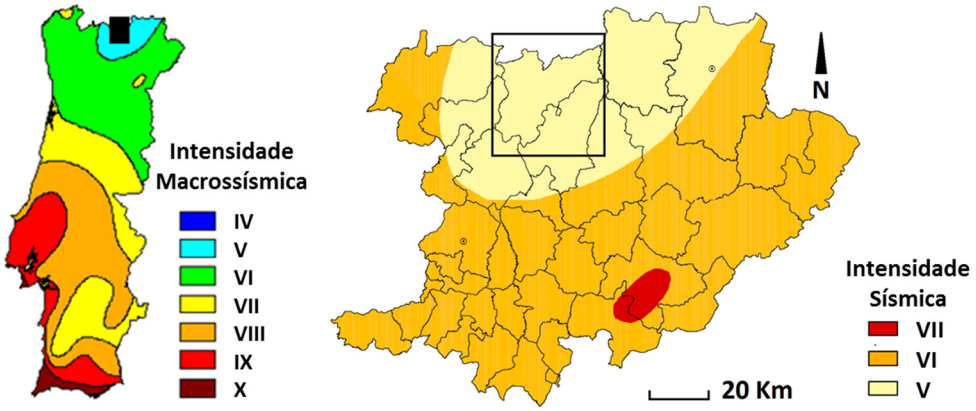


Figura 1. Intensidade sísmica histórica (Rodrigues et al., 2006).

Relativamente á avaliação da susceptibilidade das estruturas de construção civil aos riscos sísmicos, a legislação vigente em Portugal (Dec. Lei 235/83 de 1983) delimita o território em quatro zonas de risco sísmico, organizadas de A a D, sendo A a zona de maior risco e D a de menor risco (figura 2a – Anexo IV).

Da leitura de enquadramento da Região de Chaves no contexto nacional verifica-se que esta é a região cujo risco sísmico é mais reduzido, sendo que a zona D é considerada uma área onde não seja de recear os efeitos dos sismos sobre as construções (Rodrigues et al., 2006).

Avaliando o descrito é fácil remeter o risco sísmico para segundo plano no que toca às decisões de implantação de estruturas civis na região, até porque a previsibilidade de ocorrência de grandes abalos associados á actividade intraplaca, como é o caso, remete para intervalos de milhares de anos. Porém, a relativa fraca actividade e reduzida frequência sísmica que ocorre na região não afasta a hipótese de sucederem sismos de maior magnitude com potencial destrutivo forte.

A falha Penacova-Régua-Chaves-Verin, estrutura claramente activa, tem gerado sismos, observando-se a existência de epicentros próximos ou em Chaves (figura 2c – Anexo IV), verificando-se, de acordo com a sismicidade histórica, que as intensidades sísmicas máximas na região terão atingido o valor 6 (Escala de Mercalli Modificada), enquadrando-se a cidade de Chaves na zona demarcada por este valor de intensidade sísmica (figura 2b – Anexo IV).

Além da detecção instrumentada de epicentros, a observação de movimentações de origem tectónica ocorridas ao longo do alinhamento mencionado, com repercussão directa na morfologia, indica movimentação recente e potencial para gerar sismos de maior dimensão, podendo, caso tal se verifique, incorrer danos consideráveis nas construções civis (Bateira et al., 2007).

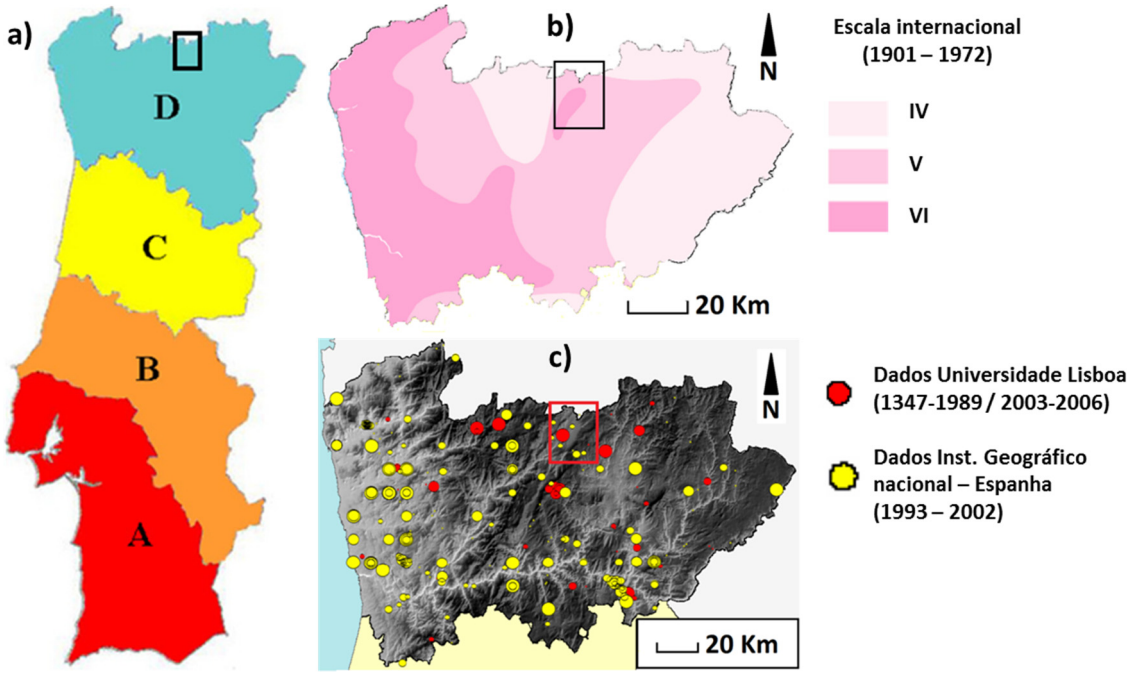


Figura 2. a) Zonamento do risco sísmico em Portugal Cgontinental; b) Zonas de intensidade sísmica máxima segundo escala de Mercaly; c) Epicentros registados entre 1347 e 2006.

Enquadramento geomorfológico

A geomorfologia consiste no estudo da morfologia do relevo cuja génese e evolução é causada por fenómenos geológicos.

O relevo é um dos principais factores que condiciona a distribuição da precipitação, da temperatura e, consequentemente, da evapotranspiração numa bacia hidrográfica. Este e, principalmente, o declive dos terrenos, exercem influência directa sobre a velocidade de escoamento superficial, o que afecta a maior ou menor probabilidade de infiltração de água no solo e a magnitude dos picos das cheias, que dependem da rapidez com que ocorre o escoamento sobre os terrenos da bacia (Potilho, 2013).

A cartografia dos sistemas morfológicos da Região Norte identifica grandes conjuntos estruturantes da paisagem. Nestes grandes conjuntos incluem-se as grandes unidades litológicas, os grandes eixos da fracturação, bem como as grandes unidades geomorfológicas.

Definindo-se áreas de características e processos idênticos, verificam-se na região em estudo (figura 1 - Anexo V) sistemas geomorfológicos denominados por serras, depressões e planalto transmontano (Bateira et al., 2007).

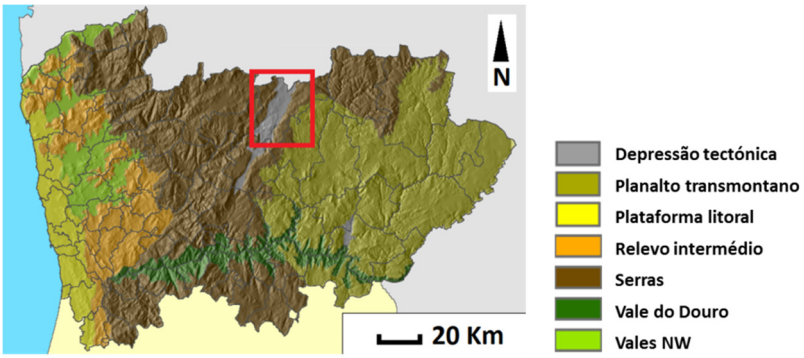


Figura 1.istemas geomorfológicos da região Norte (Bateira et al., 2007).

A Oeste de Chaves encontra-se o sistema morfológico das Serras, caracteriza-se pela presença de relevos importantes dispostos paralelamente à linha de costa formando um grande alinhamento montanhoso constituído pelas serras do NW, com as quais a região contacta através da serra do Barroso.

Na parte Este da região sobressai o sistema do Planalto Transmontano, uma superfície de aplanamento limitado a oeste pelo alinhamento tectónico de Régua-Verin.

Por fim, entalhado nos sistemas geomorfológicos anteriormente mencionados, encontramos o sistema das depressões tectónicas, um sulco topográfico contínuo formado e orientado pelo alinhamento de depressões tectónicas de Régua-Verin, que constitui o elemento morfológico que mais se destaca no Alto Tâmega.

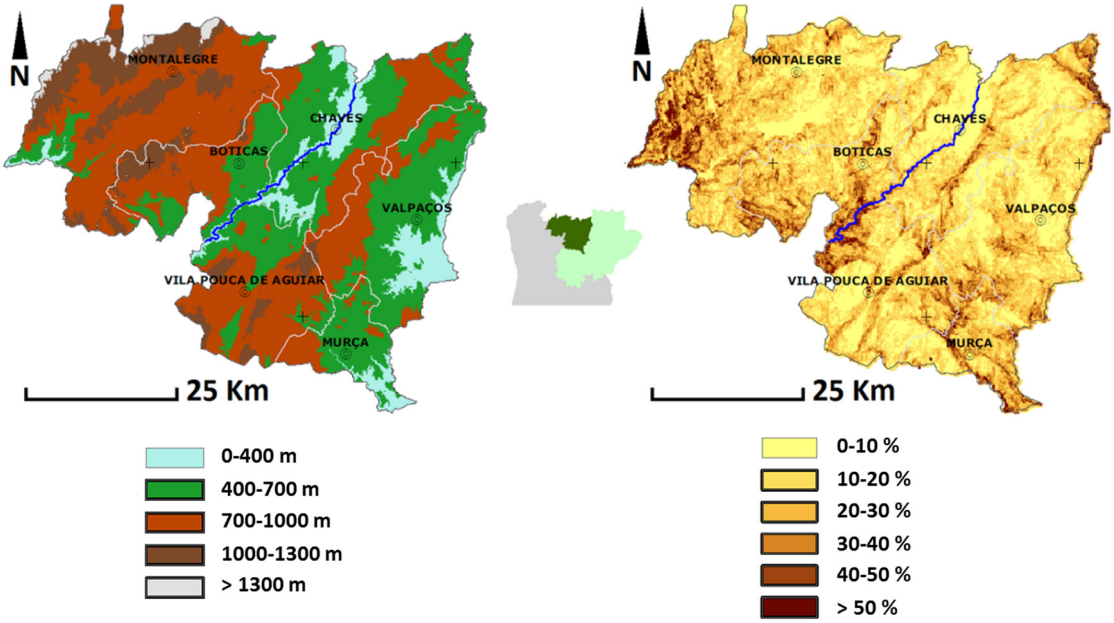
Avaliando a disposição dos sistemas morfológicos descritos é visível a influência da falha Verín-Régua-Penacova nas formas de relevo da região, a disposição alongada que os relevos do sistema das serras ocupam ao longo do sistema das depressões evidenciam-no (Bateira et al., 2007).

Altimetria e declives

Na região do Alto-Tâmega ocorre o predomínio de cotas altimétricas e declives compreendidos respectivamente nos intervalo 700-1000m e 20-40 % (figura 2 - Anexo V). A topografia e declives mais acentuados verificam-se no plano NW, mais concretamente na Serra do Barroso (concelho de Montalegre).

Aqui a topografia supera os 1000 m e o declive ascende os 40%, correspondendo a localização dos declives mais acentuados às vertentes das serras com cota mais elevada, as quais se dispõe segundo a direcção NE.

No concelho de Chaves, derivado á falha Régua-Verin que o atravessa e ao consequente controlo tectónico, verifica-se essencialmente o intervalo altimétrico 400-700m (correspondente ao fosso tectónico aí localizado) e declives na ordem de 10-20%, compreendendo o plano mais baixo e menos íngreme na região, ainda que se verifique declives mais acentuados correspondentes aos lineamentos de delimitação da depressão.



Afigura 2. Altimetria (esquerda) e declives (direita) no Alto Tâmega (Machado et al.,2006).

O concelho de Chaves (figura 3 - Anexo V) caracteriza-se por formações predominantemente graníticas e metassedimentares mais antigas, no seio das quais surgem formações de recobrimento mais recentes, estas últimas com menor expressão. A relação entre a geologia e a geomorfologia é evidente: os granitos conferem um relevo característico que se desenvolve em patamares ou terraços, os xistos promovem as variações mais bruscas de orografia, e as formações de recobrimento, resultado da erosão e depósito em zonas depressionárias, promovem superfícies aplanadas (Cabral, 2003).

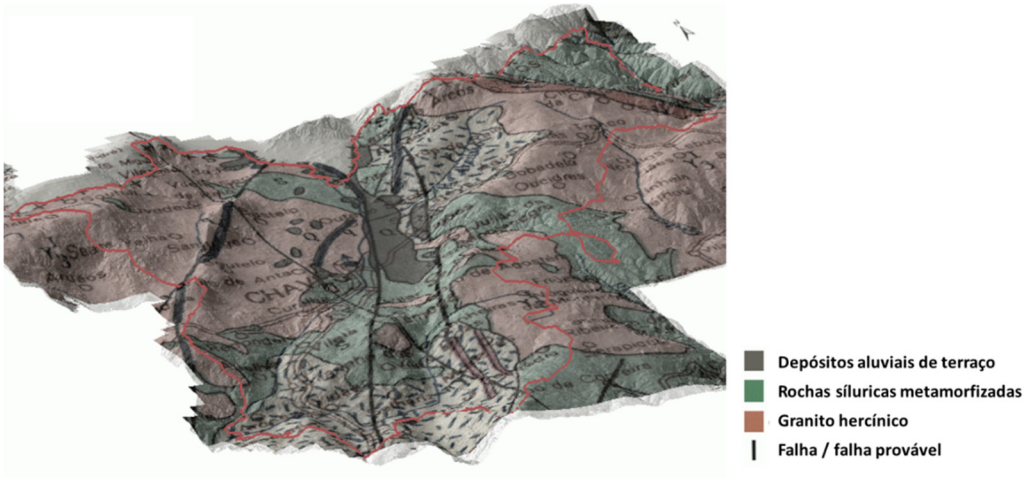


Figura 3. Cartografia 3D da carta geológica do conselho de Chaves, pertencente á folha Norte da carta geológica de Portugal á escala 1/500 000 (Coelho & Miranda, 2007-2008).

A nível tectónico aponta-se as falhas direcção NNE-SSW como principal condicionante do relevo no concelho, na medida em que ao longo destas ocorreram movimentos de elevação e de subsidência originando as principais serras, as áreas intermediárias e as bacias tectónicas (Agripro Ambiente Consultores, S.A., 2009).

Com posição central no plano em estudo surge a bacia de Chaves, um elemento de destaque no sistema de depressões composto pelo fundo de vale com cerca de 7 Km de comprimento por 3 Km de largura (dimensão média) orientado segundo NNE e compreendido na zona do vale do Tâmega, aliás, quase todo o vale é limitado a poente pela margem esquerda do rio, linha de água pouco encaixada nesta zona.

Os sedimentos acumulados na bacia conferem uma superfície ligeiramente ondulada, quase plana (0-5%), com ligeiro declive para o rio Tâmega, e a cotas a rondar os 350m de altitude, contrastando a nascente e a poente com as encostas dos montes e serras constituídas por relevos graníticos e xistosos (figura 4 – Anexo V), (GeothermEx, Inc., 2010).

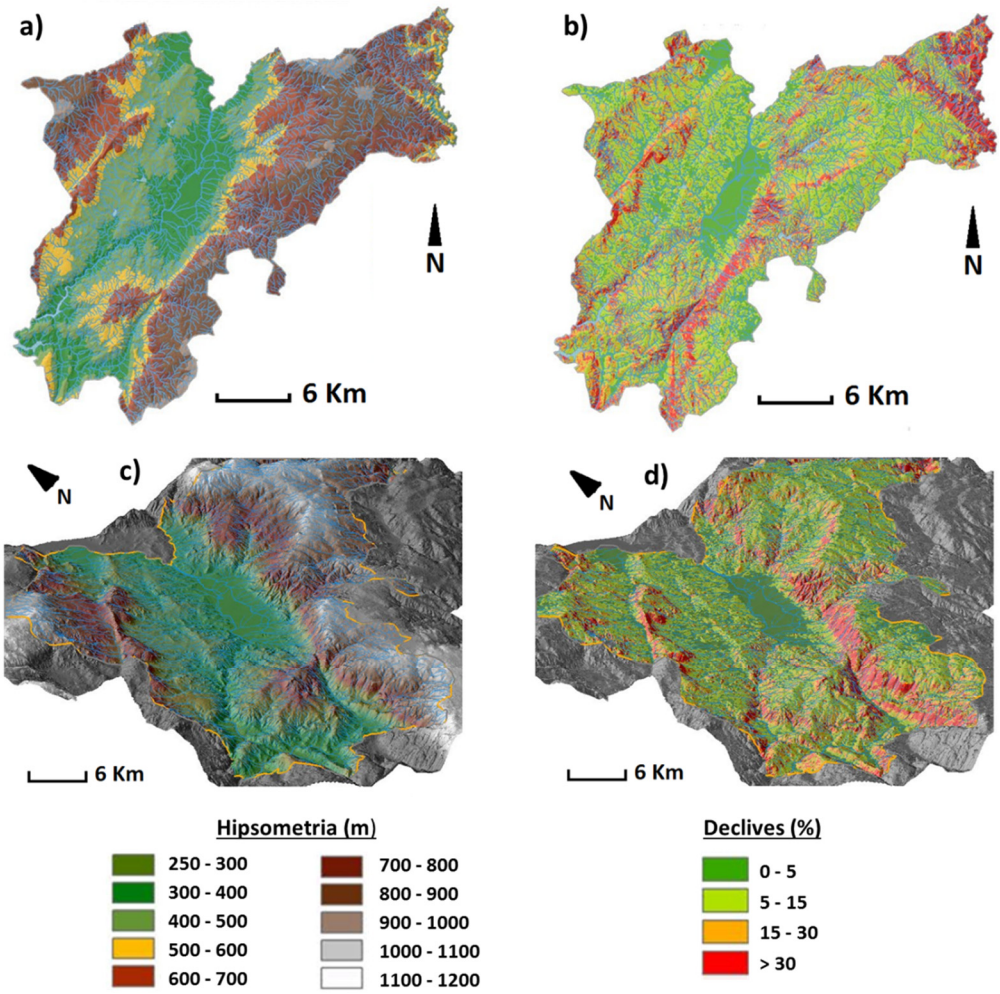


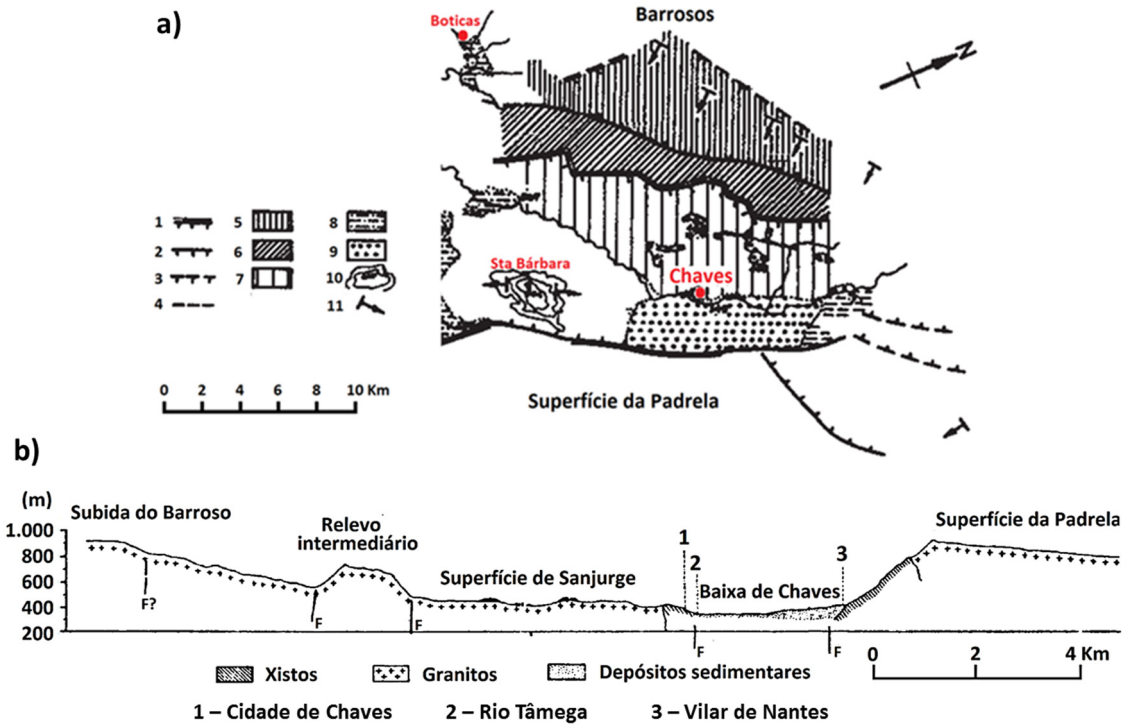
Figura 4. a) Hipsometria do Concelho de Chaves; b) Carta de declives do Concelho de Chaves; c) Hipsometria do Concelho de Chaves em 3D; d) Carta de declives do Concelho de Chaves em 3D (Coelho & Miranda, 2007-2008).

A norte, a depressão estende-se para a bacia de Verin (Espanha), que é semelhante á bacia de Chaves, enquanto no quadrante sul é fechada pelo levantamento do bloco granítico de Santa Bárbara, um relevo elevado até aos 774 m que desenvolve declives essencialmente na gama de 5-15% e obriga o rio a encaixar á medida que converge para a direcção NE-SW, embrenhando-se no sistema morfológico das Serras. (GeothermEx, Inc., 2010)

A fronteira leste da bacia é expressa pela escarpa de falha de Vilar de Nantes, que a liga á Serra do Brunheiro (919 m de altitude) e á terminação setentrional da Serra da Padrela (ordem de 850 m),

assumindo-se por vezes muito abrupta (com um lance de 400 m e declive superiores a 30%). Para leste da escarpa estabelecem-se essencialmente cotas topográficas segundo o intervalo 700-900m e declives na ordem de 5-15% (PH Neutro, 2014).

No plano a Oeste da depressão sobe-se para o planalto do Barroso (Montalegre) por patamares sucessivos separados por falhas subparalelas à Falha de Vila Real, desenvolvendo-se três níveis topográficos em escadaria ascendente resultantes de um regime distensivo (figura 5 – Anexo V).



Legenda: 1- Escarpa de falha com mais de 200 m; 2 – Escarpa de falha com menos de 200 m; 3 – Escarpa de falha provável com menos de 200 m; 4 – Fractura com papel apenas estrutural; 5 – Superfície inclinada na subida para o Barroso; 6 – Relevo intermediário; 7 – Superfície de Sanjurge; 8 – Alvéolos graníticos que se desenvolveram provavelmente em zonas de rocha esmagada; 9 – Planície aluvial e depósitos detríticos; 10 – Monte de St.ª Bárbara; 11 – Superfícies inclinadas e sentido da inclinação independentes.

Figura 5. Esboço geomorfológico da envolvente da bacia de Chaves; b) Corte transversal da bacia de Chaves (Geologia no verão, 1999).

A partir do mencionado verifica-se que a região em estudo apresenta variações altimétricas consideráveis (aproximadamente 300 a 1000 m) motivadas pela tectónica, podendo-se diferenciar três situações altimétricas específicas:

a) A veiga de Chaves no centro da área em análise, correspondente às cotas mais baixas verificada – 350 m;

b) O relevo intermediário a poente, alinhado segundo as serras do ferro e da Olga, que assenta num conjunto de cotas na ordem dos 700 m;

c) Os montes e serras a poente e a nascente, onde surgem os níveis mais elevados do concelho, que nos seus pontos mais altos rondam os 1000 m de altitude.

Enquadramento climático

Em grande escala, é perceptível que a região enquadra-se numa zona de transição de clima temperado marítimo a poente para clima temperado continental a nascente (figura 1c – Anexo VI), verificando-se variações de temperatura e precipitação lateralmente ao Concelho de Chaves e á depressão tectónica aí instalada.

A figura 1 a e b – Anexo VI, demonstra o notável decréscimo da precipitação e aumento da temperatura na transição do plano nascente para o poente. Tal ocorre devido ao sistema morfológico das serras a Oeste, que constitui uma barreira à penetração para o interior de ventos húmidos do Atlântico e promove a precipitação, o que torna o ar mais seco a Este das serras devido á perda de humidade ao transpor as mesmas (IPMA, 2015).

As diferenças significativas de distribuição da precipitação e temperatura ao longo do Alto Tâmega evidenciam as zonas que vulgarmente se designam por Terra Quente e Terra Fria, respectivamente nos planos Este e Oeste, entre as quais se verifica uma zona de transição climática que inclui aspectos típicos ainda de Terra Fria com outros já característicos da Terra Quente (Rodrigues et al., 2006).

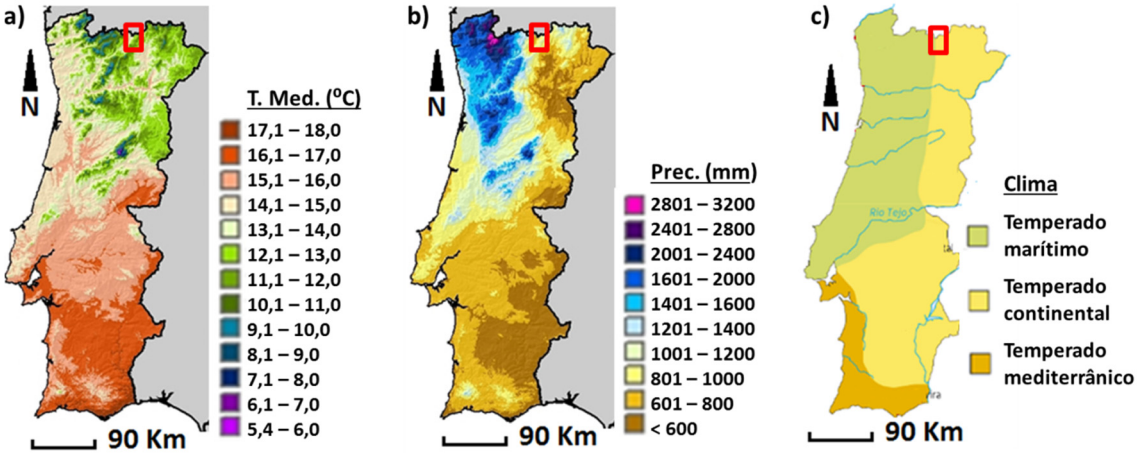


Figura 1. a) Temperatura média anual, b) Precipitação média anual; c) Clima (IPMA, 2015).

Mais especificamente, à escala da Sub-região do Alto Tâmega, através da análise da temperatura do ar e da precipitação, culminando na zonagem climática, a região em foco verifica (Machado et al., 2006):

a) Temperatura do ar

É visível o aumento de temperatura de Norte para Sul e de maior para menor altitude (figura 2ª – Anexo VI), atente-se á zona de depressão. O intervalo de valores predominante oscila entre 7,5 °C e 16 °C, correspondendo, no que refere a este intervalo, temperaturas mais elevadas nas veigas de Chaves e Vila Pouca de Aguiar, e no plano SE do concelho de Valpaços e Este de Murça, zonas de menor altitude. Já as temperaturas mais baixas correspondem a Montalegre, zona de altitude.

b) Precipitação

Os valores de precipitação diminuem à medida que se desloca para o interior ou que se desce em altitude (figura 2b – Anexo VI). Valores de precipitação elevados em Montalegre (zonas de altitude) dão lugar a valores mais baixos na veiga de Chaves, zona Este de Valpaços e Sul de Murça (zonas baixas e interiores).
A humidade relativa oscila entre 65% e 85%, diminuindo à medida que nos deslocamos para o interior devido à influência mediterrânica e às barreiras montanhosas.

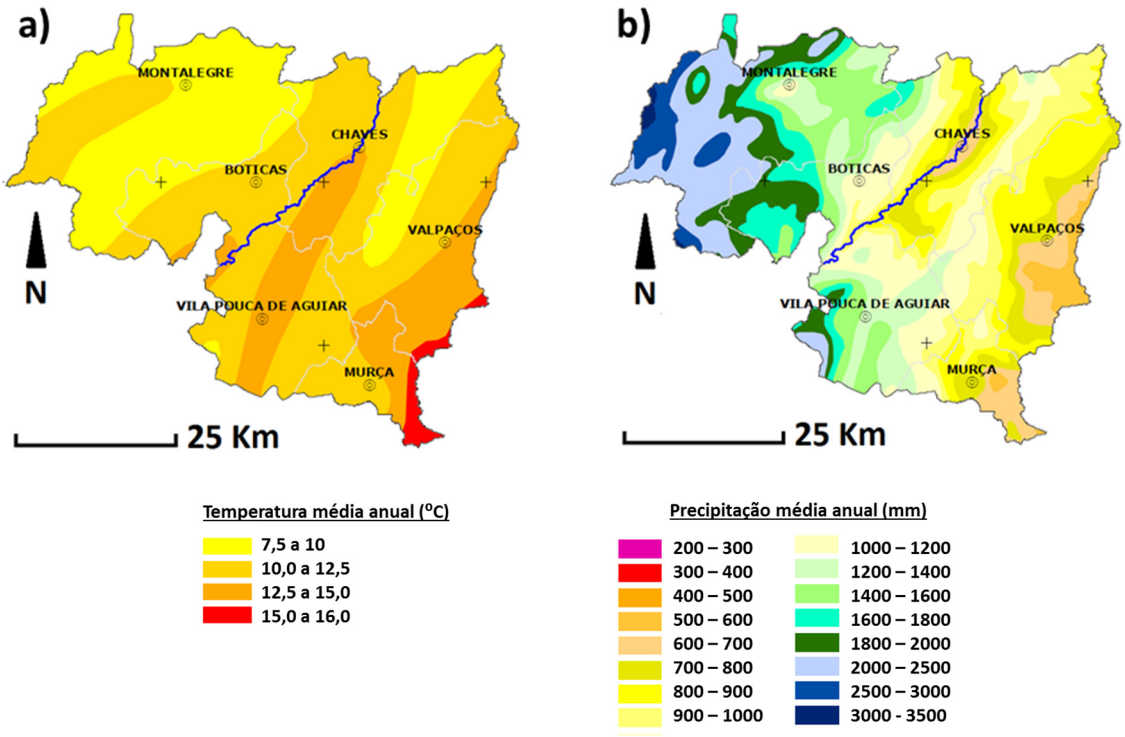
c) Zonagem Climática

Através da intersecção dos regimes térmico e de precipitação definem-se as zonas climáticas (figura 2c e quadro 1 – Anexo VI).

A análise da figura 2 – Anexo VI permite constatar que a zona climática Terra Fria de Planalto (F1) é aquela que ocupa maior área na região (32%), estendendo-se pelos concelhos de Montalegre, Boticas e Vila Pouca de Aguiar.
Ressalta também na visualização do mapa a veiga de Chaves, situada na zona climática Terra de Transição (T4) contornada por (T3) nos relevos intermédios a Oeste.

Por último, as Terras Quentes na parte Este de Valpaços e Sul de Murça, e as Terras Frias presentes essencialmente no Concelho de Montalegre, que embora de assinalar devido às características extremas de precipitação, são as zonas climáticas com menor distribuição na região.

De forma geral é também visível á escala do Alto Tâmega que à medida que nos deslocamos de Oeste para Este a influência Atlântica dá lugar à influência Mediterrânica, isto é, a elevados valores de precipitação e valores não muito elevados de temperatura sucedem baixas precipitações e altas temperaturas.



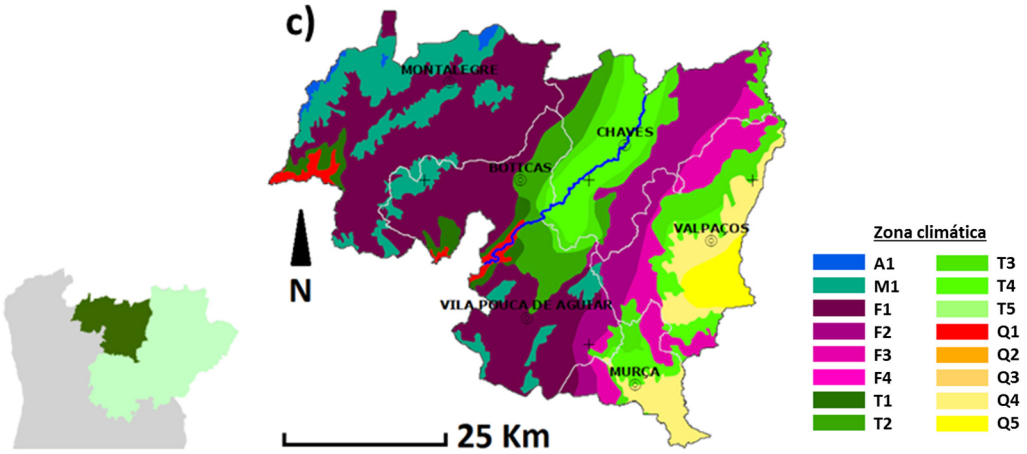


Figura 2. Cartografia climatológica do Alto-Tâmega: a) Temperatura média anual; b) Precipitação média anual; c) Zonagem climática (Machado et al., 2006).

Quadro 1. Definição das zonas clçimáticas (Machado et al., 2006).

Definição das zonas climáticas			
Zona climática	**Cód.**	**Pma (mm)**	**Tma (ºC)**
A - Terra fria de alta Montanha	A1	> 1200	≤ 9
M - Terra fria de Montanha	M1	> 1200	> 9 - ≤ 10
	M2	1000 - 1200	
F - Terra fria de planalto	F1	> 1200	> 10 ; ≤ 12,5
	F2	1000 - 1200	
	F3	800 - 1000	
	F4	600 - 800	
	F5	< 600	
T - Terra de transição	T1	> 1200	> 12,5 - ≤ 14
	T2	1000 - 1200	
	T3	800 - 1000	
	T4	600 - 800	
	T5	< 600	
Q - Terra quente	Q1	> 1200	> 14
	Q2	1000 - 1200	
	Q3	800 - 1000	
	Q4	600 - 800	
	Q5	< 600	

De acordo a classificação de Koppen1 predomina na região o clima temperado com Inverno chuvoso e Verão seco e pouco quente (figura 3 – Anexo VI). Em termos gerais, o clima do Alto Tâmega é considerado mesotérmico húmido com estação seca no Verão, sendo que o Verão é pouco quente mas extenso, e com o período da tarde mais seco e quente que o período da manhã.

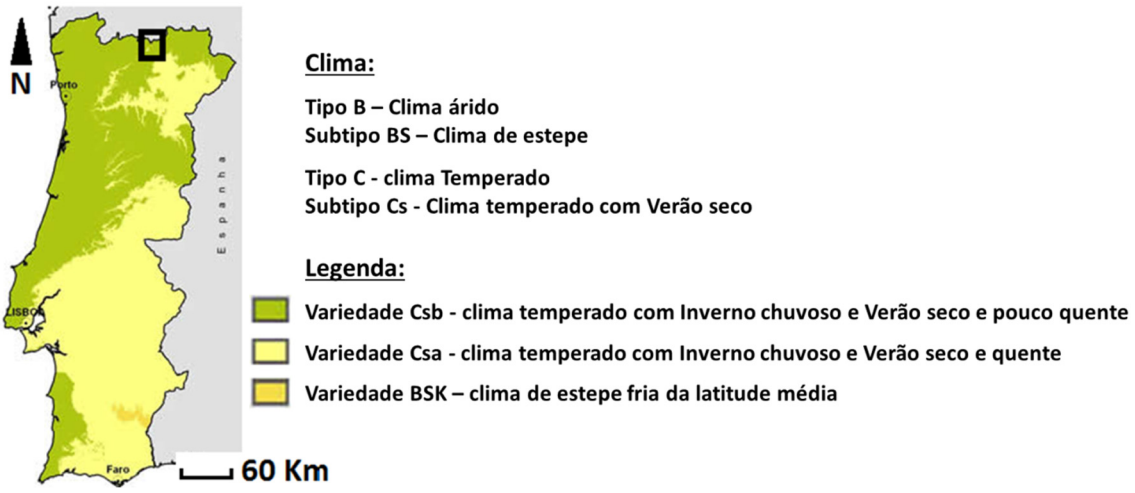


Figura 3. Classificação climática de Köppen (IPMA, 2015).

Centrando a análise no Concelho de Chaves, este é caracterizado por Invernos frios a frescos e chuvosos, e Verões moderados a quentes e secos, variando a intensidade das estações com a elevação.

[1] Divide o clima da Terra em 5 regiões: Clima Tropical Húmido; Clima Seco; Clima Temperado com Inverno suave; Clima Temperado com Inverno rigoroso; Clima Polar.

As amplitudes térmicas significativas resultam num clima pouco moderado a continental, níveis de precipitação médios mas elevados no Inverno e ocorrência significativa de orvalho e geada, que às vezes, em Dezembro e Janeiro, chegam a tomar o aspecto de nevadas.

Nas zonas mais altas, a partir dos 800 metros, é de prever a ocorrência de queda de neve, que pode permanecer nos cumes das áreas mais elevadas por várias semanas.

As temperaturas baixam consideravelmente no inverno (entre Dezembro e Janeiro varia entre os 6 e os 8 °C), sem contudo chegar a haver frios rigorosos. Durante a primavera a temperatura sobe (de Março a Junho varia entre os 20 e os 30 °C) e no Verão por vezes atinge mais de 35 °C, mas não se verificam verões sufocantes.

O Concelho não está muito exposto a ventos fortes (Quadro 2 – Anexo VI), registando-se alguns no princípio da Primavera e do Outono orientados do quadrante Sudoeste, embora a orientação Norte tenha também uma frequência significativa (STEPLAN, 2005; Coelho & Miranda, 2007-2008; PH Neutro, 2014).

Quadro 2. Parâmetros climatológicos anuais médios de Chaves (Cabral, 2003; STEPLAN, 2005; Machado et al., 2006; Bateira et al., 2007).

Parâmetros climatoógicos anuais médios de Chaves					
Precipitação		**Temperatura**		**Ventos**	
Total (mm)	715,2	Média anual (ºC)	12,5	Velocidade (Km/h)	5,1
Máxima (mm)	107,9	Média mês mais frio (ºC)	5,3	Direcção	Sudoeste
Mínima (mm)	14,3	Média mês mais quente (ºC)	20,6		
Mês com maior precipitação	Janeiro	Mês mais frio	Dezembro		
Mês com menor precipitação	Julho	Mês mais quente	Julho		
Meses secos	Julho e Agosto	Insolação (horas)	2000 a 2600		
Precipitação >10 mm (dias)	24,8				
Num. de dias de precipitação	>100				
Num. De dias com geada	55,5				
Humidade relativa (%)	70,5				
Prâmetros climatológicos referentes ao periodo 1951/76, á excepção dos ventos, que correspondem ao periodo de 1960 a 1976.					

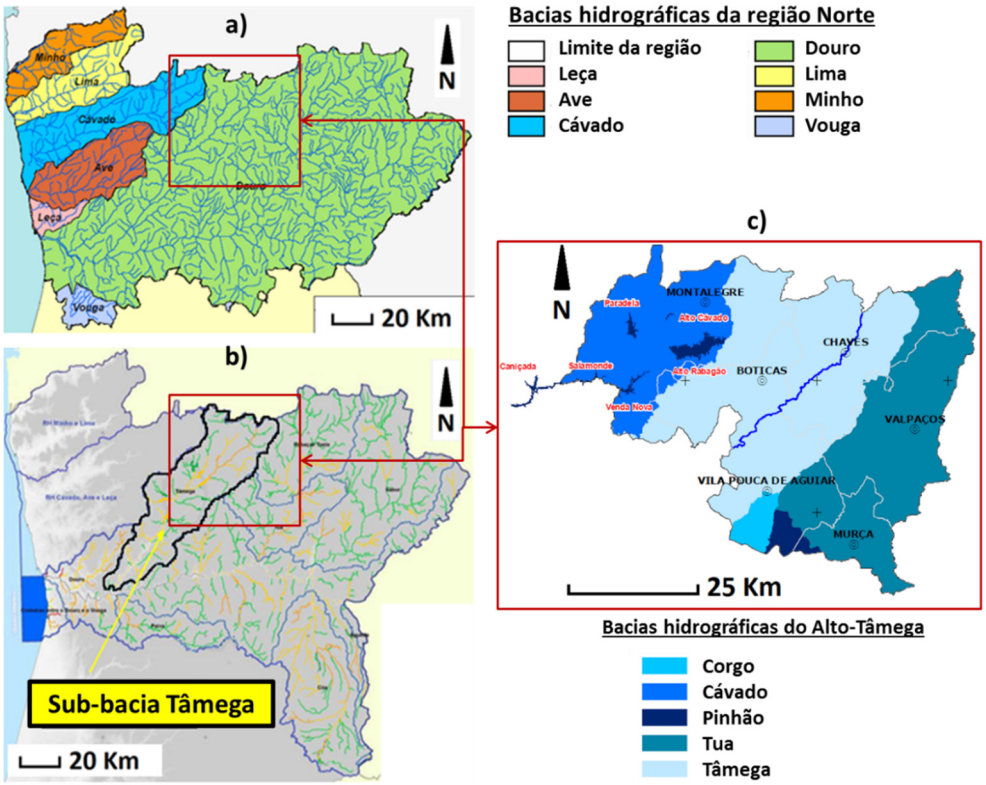
Compartimentando o Concelho de acordo com a diferenciação geomorfológica verifica-se (Coelho & Miranda, 2007-2008):

- *No sector oriental o clima é caracterizado por invernos bastante agrestes e prolongados ocorrendo alguns nevões e geadas, atingindo temperaturas com vários graus negativos. A Primavera é bastante fresca e a partir de Maio há uma subia gradual da temperatura, que durante os meses de Verão pode ultrapassar os 30 ou 40;*
- *No sector ocidental os invernos são frios, mas à maior ocorrência de precipitação. O Verão é bastante quente ocorrendo por vezes trovoadas e tempestades de granizo;*
- *Na zona central do concelho, correspondente á depressão tectónica, ocorre menor precipitação e maior temperatura, invertendo á medida que se afasta da depressão devido á elevação do nível topográfico.*

Enquadramento hidrográfico

A quase totalidade do território da sub-região do alto Tâmega integra-se na bacia hidrográfica do Rio Douro, á excepção do plano Oeste do Concelho de Montalegre, o qual pertence á bacia hidrográfica do Rio Cávado (figura 1a e b – Anexo VII).

O Rio Cávado drena directamente na região, ao contrário do Rio Douro, ao qual as águas de drenagem superficial do território em análise chegam a partir das sub-bacias dos Rios Corgo, Pinhão, Tâmega e Tua (figura 1c – Anexo VII). Esta rede Hidrográfica presente no Alto Tâmega caracteriza-se por uma elevada densidade de drenagem fortemente condicionada pela tectónica, como evidencia a orientação da bacia do Rio Tâmega, aproximadamente paralela ao acidente Régua-Verin e á fracturação principal (NNE-SSW a NE-SW). Além disso, a inserção da bacia no vale de fractura é mais uma prova do controlo tectónico sobre a rede hidrográfica na zona em estudo (Pedrosa et al., 2011).



Ocupação das bacias hidrográficas no Alto Tâmega		
Bacias	**Área**	
	(ha)	**(%)**
Cávado	60387	20,9
Corgo	6290	2,2
Pinhão	4588	1,6
Tâmega	124192	42,9
Tua	93935	32,4
Total	289392	100

Figura 1. a) Principais bacias hidrográficas da região Norte (Bateira et al., 2007); b) Enquadramento geográfico da bacia do Rio Tâmega (Potilho, 2013); c) Bacias hidrográficas do Alto-Tâmega (Machado et al., 2006).

Avaliando a representatividade das bacias hidrográficas presentes no Alto-Tâmega (quadro 1 e figura 1c – Anexo VII), identifica-se que a bacia do rio Tâmega é a maior das restantes com aproximadamente 43% de área ocupada, abrangendo Chaves, Boticas e Vila Pouca de Aguiar. Posto isto, pode-se considerá-la uma bacia hidrográfica regional, drenada superficialmente pelo rio Tâmega e seus afluentes.

O Rio Tâmega é um rio internacional que nasce junto a Verín (Espanha) e desagua no Rio Douro em Entre-os-Rios (Amarante) (quadro 1 – Anexo VII). É o afluente mais extenso e caudaloso do Rio Douro e a quarta maior sub-bacia da bacia hidrográfica do rio Douro em território português (figura 2b – Anexo VII), caracteriza-se na sua generalidade pelo traçado muito sinuoso de direcção média NE-SW (paralelo ao desligamento Régua-Verin) e bastante encaixado em vales apertados em forma de V com encostas ingremes, por entre as quais flui para SW (Potilho, 2013).

Quadro1. Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Tâmega (Potilho, 2013; SNIRH – Sistema Nacional de Informação de Recursos Hídricos).

Caracterização da bacia hidrográfica do Rio Tâmega	
Regime administrativo	Administração da região hidrográfica do Norte - ARH Norte.
Região	Norte, afluente do Rio Douro.
Nascente	Norte de Monterrey, Verín.
Entrada em Portugal	Concelho de Chaves.
Foz	Margem direita do Douro em Entre-os-rios (Amarante).
Albufeiras	Torrão.
Principais afluentes	Ovelha, Olo, Ouro, Louredo, Beça, Terva, Vidago e Babul (Espanha).
Serras	Padrela, Corgo, Barroso, Marão a Alvão.
Povoações	Chaves, Mondim de Basto, Celorico de Basto, Amarante e Marco de Canavezes.
Altitude da nascente	1000 m
Altitude á entrada em Portugal	375 m
Comprimento principal	184,2 Km
Comprimento principal em Espanha	24 Km
Área total da bacia	3310 Km^2
Área da bacia em Espanha	673 Km^2
Configuração da bacia	Sensivelmente rectangular e bastante alongada.
Orientação geral da bacia	NE-SW
Altitude média da bacia	Superior a 600m (devido principalmente aos seus afluentes, alguns com cotas superiores a 1300 metros, apesar do curso principal estar em cotas significativamente mais baixas).
Declive médio da bacia	17,44 %
Caudal médio anual	70,31 m^3/s
Temperatura média anual	13,2 ^oC
Precipitação anual	1336 mm

A nível concelhio, o Tâmega constitui a linha de água mais importante de Chaves, as demais são de menor importância e algumas delas não são permanentes (Cabral, 2003).

A sua entrada no concelho, e simultaneamente no território português, dá-se a Norte pela extensa Veiga de Chaves, um vale assimétrico, amplo e aplanado, estabelecendo uma excepção que contraria a tendência geral do Rio. Imediatamente a Sul da Veiga surge a elevação de Santa Bárbara que obriga o rio a desmarcar-se da depressão Régua-Verín, levando-o a encaixar nos relevos a SW por onde abandona o concelho.

Em termos de bacia hidrográfica, a fracção da bacia do Tâmega que se inscreve em Chaves caracteriza-se pelos indicadores que a seguir se apresentam (quadro 2 – Anexo VII).

As grandes variações pluviométricas anuais observadas na porção da bacia do Tâmega inscrita no concelho de Chaves e em Espanha originam, consequentemente, irregularidades no seu regime e no dos seus ribeiros. Assim, no fim do Verão, devido ao estilo prolongado, a água corrente escasseia. Pelo contrário, no

Inverno, com a abundância de precipitação e a fusão das neves que caem nas serras próximas, os caudais engrossam, por vezes transbordando e dando origem a cheias.

As cheias provocadas pelo Tâmega no Concelho têm sido uma constante com intervalo de tempo curto (menos de uma década a separar cheias de alguma dimensão).

Na figura 2 – Anexo VII pode-se observar as áreas inundadas para o nível máximo que uma cheia poderá atingir. Daí ressalta que na Veiga toda a margem esquerda do rio está mais exposta e mais vulnerável que a margem direita, porém, em termos de perigosidade a margem direita é mais alarmante, pois incorpora parte da cidade de Chaves, incluindo as Caldas, o campo hidrotermal situado nos Campos do Tabolado, e as captações hidrominerais aí presentes. Aliás, as Termas de Chaves são um dos locais críticos que normalmente ficam submersos pelas águas que transbordam do leito normal do Rio Tâmega (Coelho & Miranda, 2007-2008).

Quadro 2. Valores hidroclimatológicos de Chaves (STEPLAN, 2005; GeothermEx, Inc., 2010).

Valores Hidroclimatológicos de Chaves (mm)	
Precipitação média anual total	600 a 700
Escoamento médio anual	150 a 200
Evapotranspiração	450 a 500
Taxa de infiltração	14 % (para uma precipitação média anual de 750 mm)

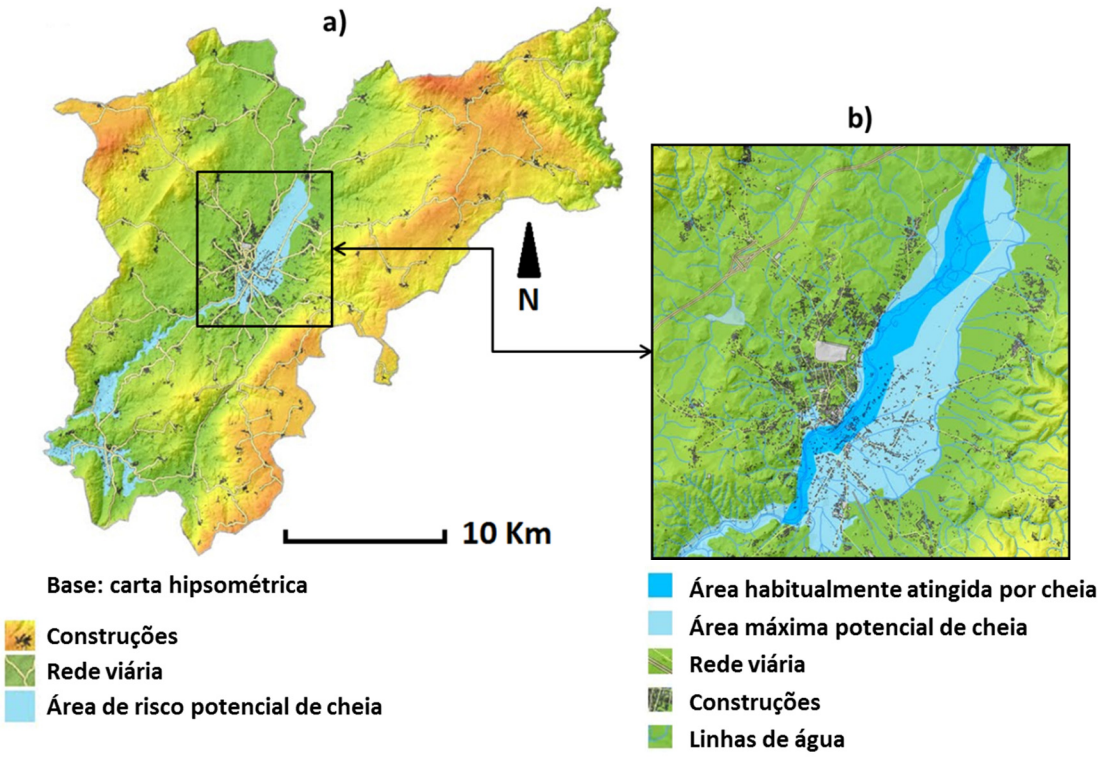


Figura 2. a) Área de risco de cheia para o nível máximo; b) Área de risco de cheia na cidade de Chaves (Coelho & Miranda, 2007-2008).

Aquífero sub-superficial

O aquífero da veiga de chaves é o único reconhecido como tal no maciço antigo do norte do país. Constituindo-se de sedimentos depositados no graben distribuídos em profundidade por cascalheiras que se sobrepõem a formações gresosas (mais ou menos consolidadas) com intercalações argilosas. Distribui-se por uma área de aproximadamente 16 Km2 e apresenta uma forma alongada segundo a direcção NE-SW, em consonância com a orientação de falha Verin-Régua-Tomar (figura 1 – Anexo VIII).

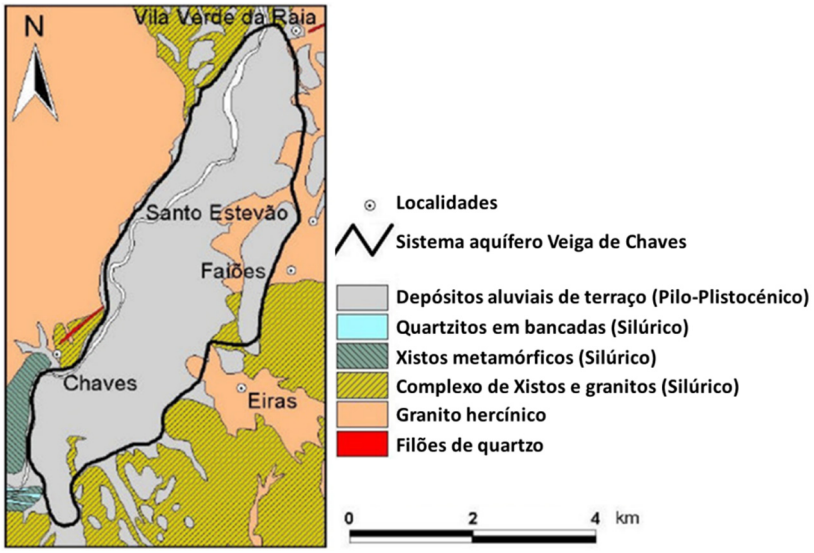


Figura 1. Enquadramento litoestratigráfico do sistema aquífero da Veiga de Chaves (Almeida et al., 2000).

Trata-se de um sistema aquífero multicamada constituído por dois aquíferos, um superficial, livre a confinado, e outro mais profundo, confinado, ambos pautados pela típica circulação em meio poroso associada às formações geológicas que os constituem.

Quanto ao quimismo, verifica-se a presença de fácies cloretada-bicarbonatada, sódica e sódico-cálcica (Carvalho, 2000; Almeida et al., 2000).

A caracterização deste sistema de circulação hidrogeológico apresenta-se no quadro 1 – Anexo VIII.

Atendendo-se ao balanço hídrico conhecido (quadro 2 – Anexo VIII), realizado em 1987, é possível apresentar várias informações sobre o sistema de recarga e descarga do sistema aquífero da veiga de chaves.

O aquífero superficial recebe recarga directa a partir da precipitação e de cursos de água subterrâneos alimentados pelas principais ribeiras nos pontos de contacto da aluvião com o cristalino e pela percolação durante o seu percurso através dos depósitos sedimentares do vale.

Parece ser desprezável o contributo a partir de rochas cristalinas que ladeiam o Graben, cujas descontinuidades actuam como barreira devido ao seu preenchimento argiloso, desviando a circulação de água subterrânea ao longo das linhas de fractura. O rio Tâmega só em zonas pontuais contribuirá para a recarga deste aquífero (Marques et al., 2000).

Quadro 1. Caracterização do sistema aquífero da Veiga de Chaves (Carvalho, 2000; Almeida et al., 2000).

Caracterização do sistema aquifero da Veiga de Chaves

Caracterização geral

Formações Aquíferas Dominantes	Aluviões e Depósitos de terraços, constituidos por cascalheiras, areias finas a grosseiras, com calhaus e argila
Espessura das formações	Em conjunto, a espessura das formações aquíferas pode ultrapassar 150 m no centro da fossa, embora a espessura das camadas mais produtivas não exceda os 50 m.
Características Gerais	Sistema multicamada constituido por dois aquiferos, um superficial e outro mais profundo
Circulação	O aquifero subsuperficial circula em cascalheiras, enquanto o profundo circula em formações gresosas. Ambas as situações caracterizadas pela circulação em meio poroso.
Estado de pressão	Livre a confinado no aquifero superficial e confinado no profundo.
Funcionamneto Hidráulico	O aquífero superficial recebe recarga directa da precipitação e de cursos de água subterrânea alimentados pelas principais ribeiras, que por sua vez concede recarga ao aquifero profundo por drenância.
Captação	Essencialmente através de poços no aquifero superficial e exclusivamente através de furos no aquifero profundo.
Fácies Química	Cloretada-bicarbonatada sódica e sódico-cálcicas.

Caracterização hidrodinâmica

Parâmetros hidrodinâmicos	Núm. amostras	Média	Desvio Padrão	Minimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Produtividade (l/s)	36	5,5	8,6	0,4	0,5	1,5	5,4	35
Piezometria (m)	17	n.d.	n.d.	0,35	0,76	n.d.	1,9	10,38
Transmissividade (m2/dia)	45	n.d.	n.d.	1	8	42	170	3000
Coeficiente de armazenamento	45	n.d.	n.d.	5,0E-06	5,7E-05	n.d.	8,3E-03	3,0E-02

Observações: Medições da profundidade do nível piezométrico realizadas no período de Novembro de 1986 a Maio de 1987

Caracterização hidroquímica

Parâmetro	Unidade	Núm. amostras	Média	Desvio Padrão	Mínimo	Q1	Mediana	Q3	Máximo
Condutividade	(µS/m)	17	376	446	90	176	210	299	1586
pH	-----	17	6,36	0,33	6,1	6,1	6,3	6,4	7,23

Químismo Estão representadas as fácies Cloretada-bicarbonatada; sódica e sódico-cálcica.

Observações: Análises realizadas no periodo compreendido entre 1986 e 1987.

Quadro 2. Balanço hídrico do aquífero da Veiga de Chaves (Marques et al., 2000).

Balanço hídrico do aquífero da Veiga de Chaves (hm^3/ano)

Recarga	**Natural**	**Restituição da rega**	**Infiltração do rio**	**Recarga lateral**
	1,93	0,5	0	0
Descarga	**Exploração dos lagos e rio**	**Escoamento residual**	**Extracção dos 1200 poços (aquífero superficial)**	**Extracção para a cidade**
	0,25	0,46	1,2	0,52

Nota: O presente balanço constitui uma estimativa anterior á construção dos furos profundos responsáveis pelo abastecimento de água á cidade de Chaves.

O aquífero profundo recebe recarga por drenância do aquífero superficial, observando-se um atraso de três meses na resposta dos níveis ao início da recarga.

Análises isotópicas indicam muitas semelhanças das águas do aquífero da veiga de chaves com as águas de recarga superficial localizadas em ambos os lados do graben a uma altitude inferior a 660 m, apontando uma contribuição considerável por parte dos cursos de água locais na recarga do aquífero. As análises indicam ainda dever tratar-se de águas com tempo de residência considerável (Almeida et al., 2000).

Quanto à exploração do sistema aquífero, as extracções resultam dos regimes de exploração de inúmeras captações instaladas no aquífero superficial e de quatro furos profundos (AC1, que explora 15 L/s; AC75, explora 35 L/s; ACP1 e ACP2 – figura 2 – Anexo VIII) que extraem do aquífero profundo. Estes últimos, responsáveis pelo abastecimento exclusivo da cidade de Chaves, desenvolvem-se até cerca de 150 m de profundidade e exploram conjuntamente o complexo gresoso, extraindo caudais na ordem de 80 L/s com estabilização do nível hidrodinâmico, aproximando-se dos recursos renováveis calculados – 2,0 hm3/ano (Carvalho, 2000; Marques et al., 2000).

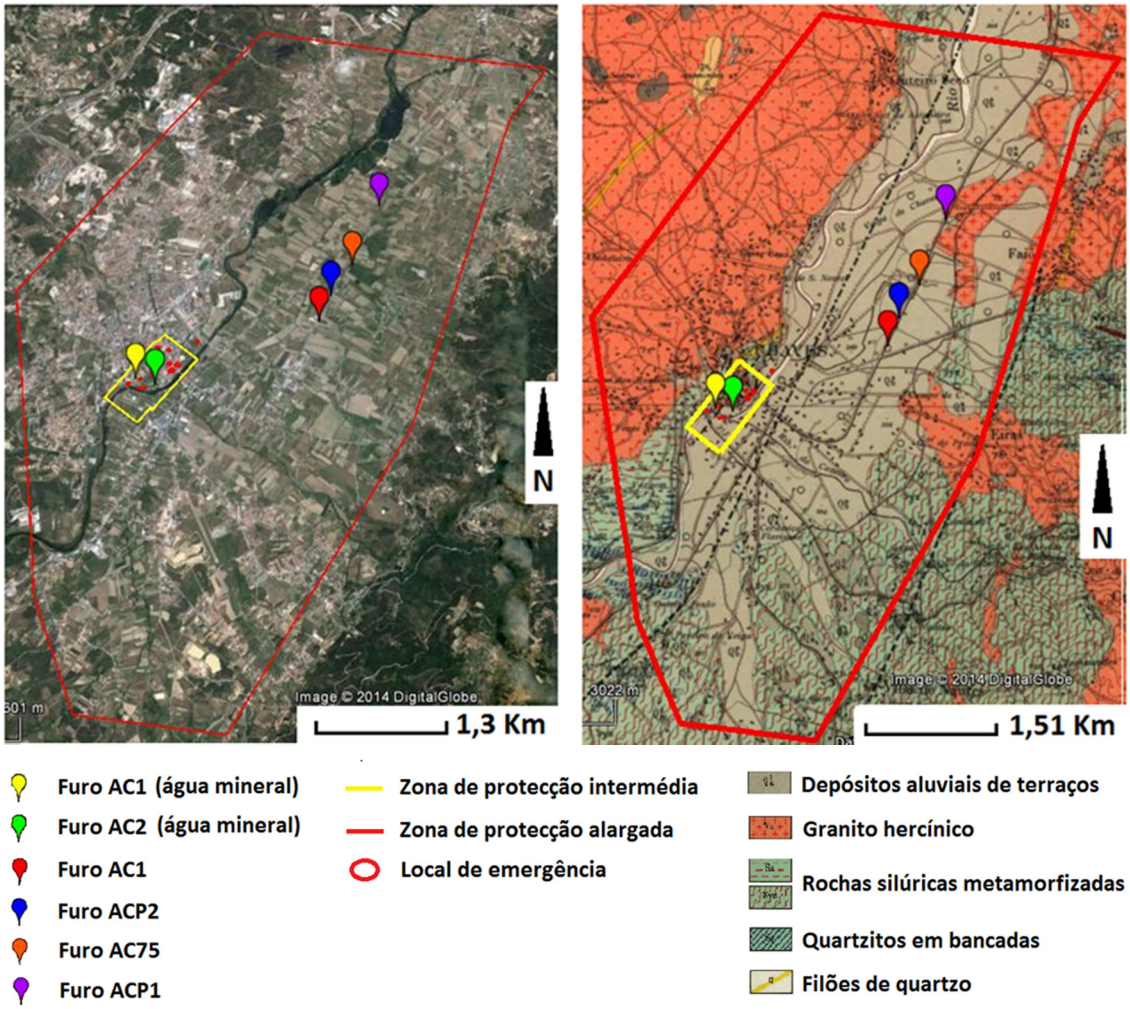


Figura 2. Localização das captações de água mineral AC1 e AC2 e das captações responsáveis pelo abastecimento de água á cidade de Chaves: AC1, ACP1, ACP2 e AC75. Visualização de imagem satélite á esquerda e enquadramento na carta geológica á direita.

De acordo com as estimativas, o sistema é excedentário (maior recarga face á descarga – entradas conhecidas = 2,43 hm^3/ano; saídas conhecidas = 1,7 hm^3/ano) e o aumento da exploração poderá produzir uma recarga induzida, aumentando, assim, os recursos disponíveis (Almeida et al.,2000).

Prospecção geofísica

Implantação dos perfis geofísicos de prospecção sísmica e eléctrica - Figura 1

Perfil sísmico PSX-1 - Figura 2

Perfil sísmico PSX-2 - Figura 3

Perfil sísmico PSX-3 - Figura 4

Perfil sísmico PSX-4 - Figura 5

Perfil sísmico PSX-5 Figura 6

Perfil de tomografia eléctrica TM1 - Figura 7

Perfil de tomografia eléctrica TM2 - Figura 8

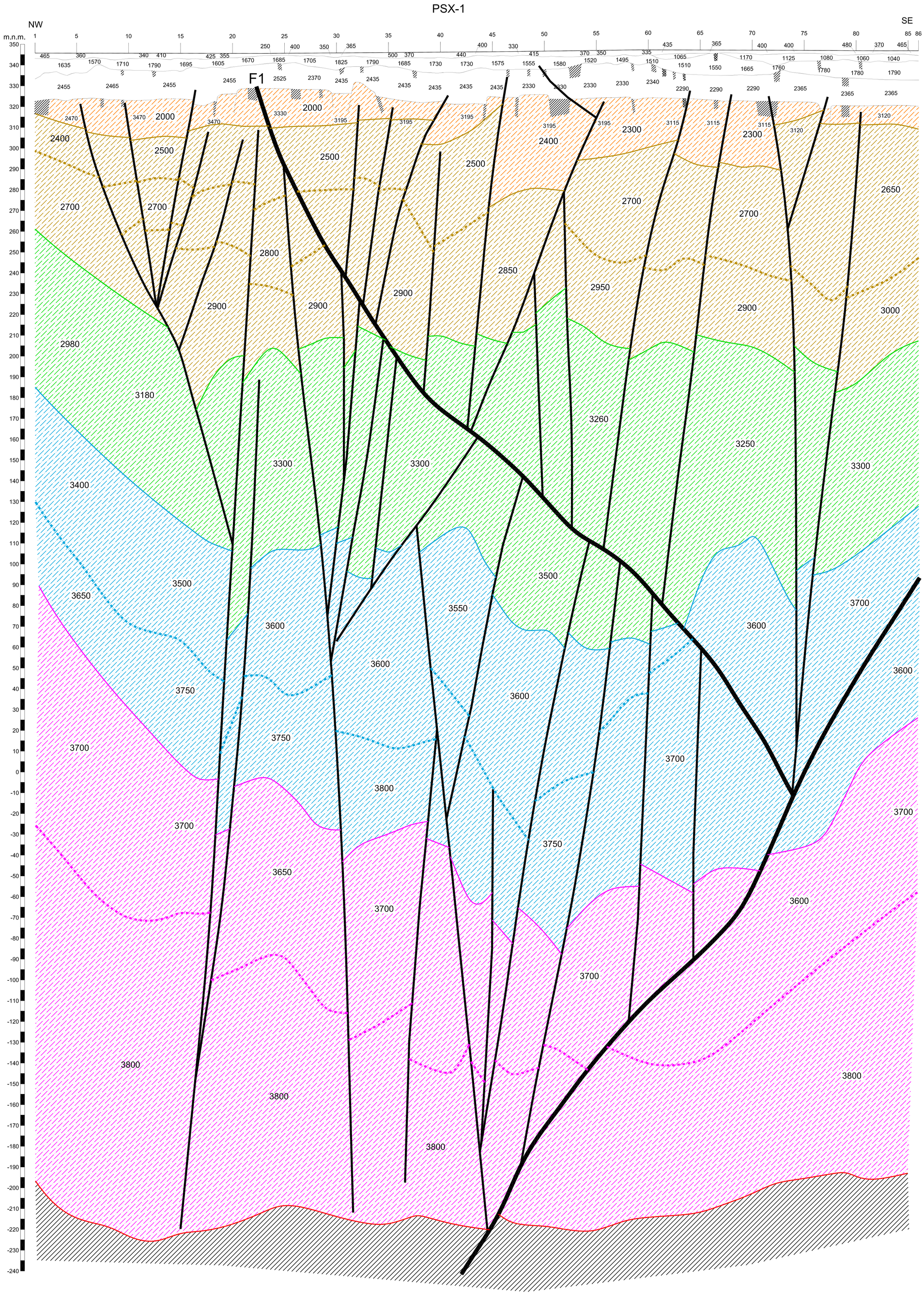
Perfil de tomografia eléctrica TM3 - Figura 9

Perfil de tomografia eléctrica TM4 - Figura 10

Perfil de tomografia eléctrica TM5 - Figura 11

Implantação das principais falhas geológicas detectadas nos perfis geofísicos -Figura 12

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: SITUAÇÃO DOS PERFIS REALIZADOS COM A LOCALIZAÇÃO DOS TRAÇOS SÍSMICOS	PLANO: 1



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1500 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

400 440 1730 2435 2435 -Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3250 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

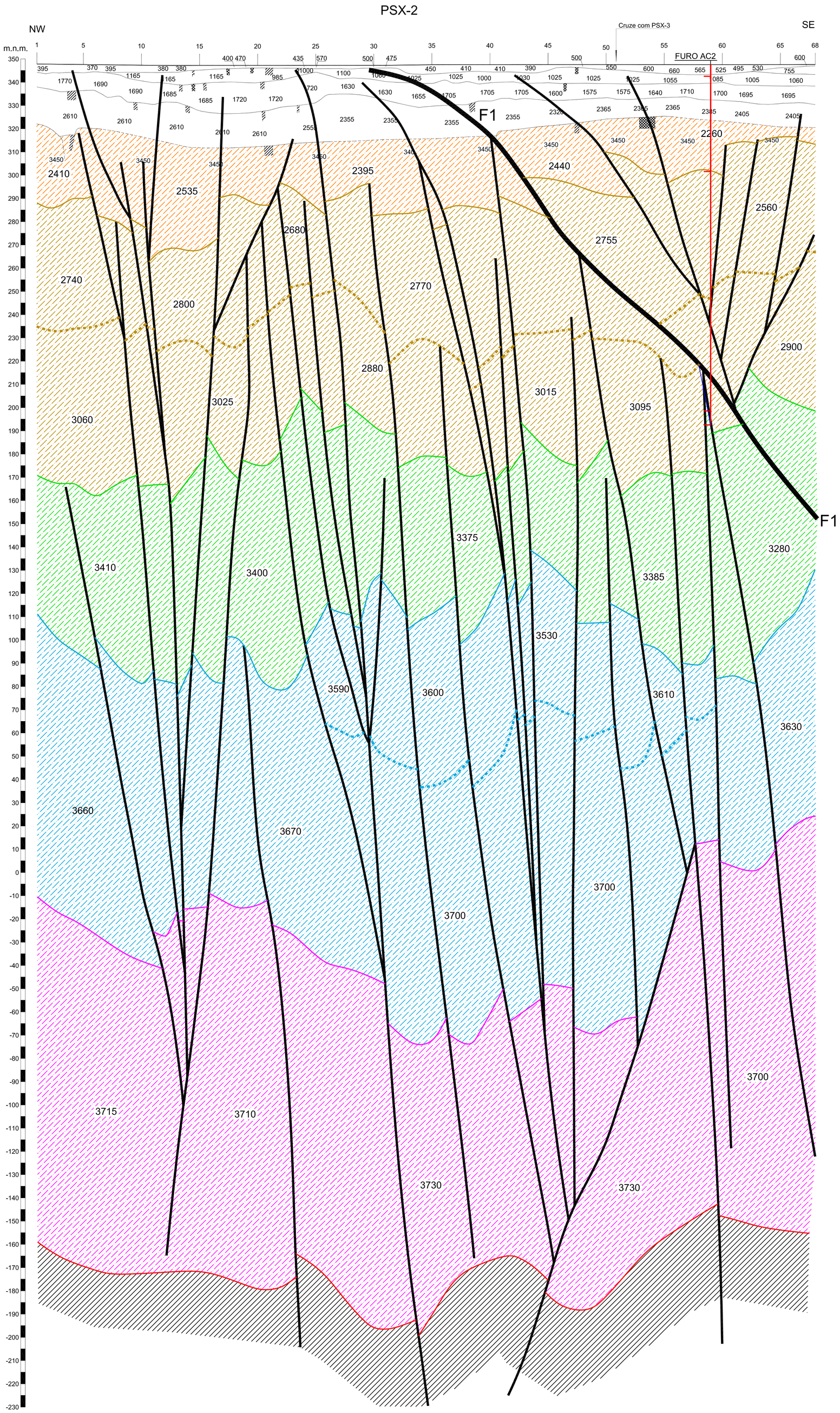
-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

POSSIVEL ATRIBUIÇÃO GEOLOGICA

Xistos e micaxistos silúricos
Mais ou menos compacto e são de acordo com sua velocidade e número de falhas.

Fundo Acústico

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: CORTE SÍSMICO OBTIDO E POSSIVEL CORRELAÇÃO GEOLÓGICA DO **PSX-1**	PLANO: 3



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1700 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

410 410 1000 1705 -Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3250 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

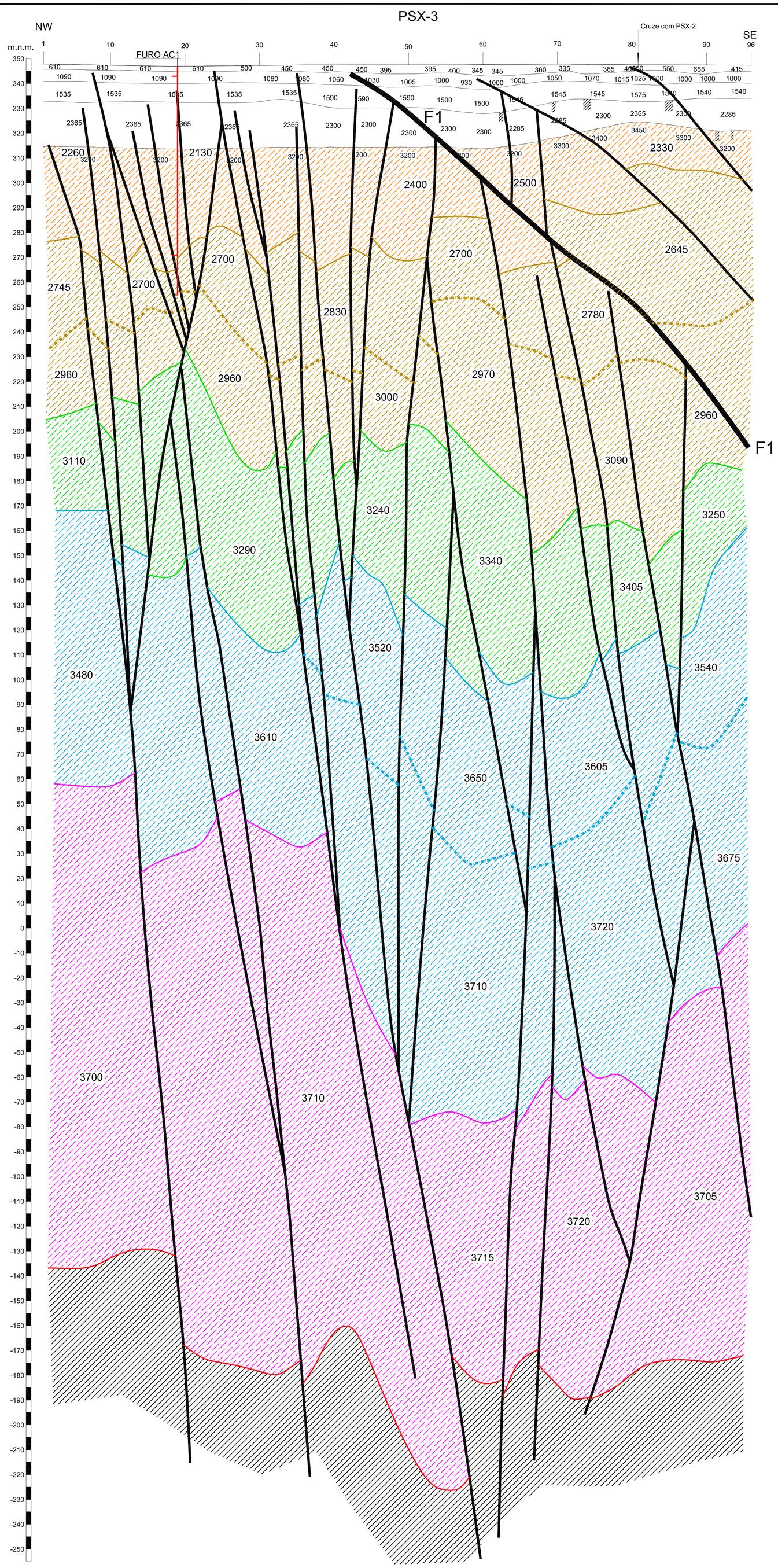
-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

POSSIVEL ATRIBUIÇÃO GEOLOGICA

Xistos e micaxistos silúricos
Mais ou menos compacto e são de acordo
com sua velocidade e número de falhas.

Fundo Acústico

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	JUNHO 2012 / 185-12	TITULO DO PLANO: CORTE SÍSMICO OBTIDO E POSSIVEL CORRELAÇÃO GEOLÓGICA DO **PSX-2**	PLANO: 4



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1500 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

550 655 415
1000 1000 1000
1540 1540 1540
2300 2285
-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3250 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

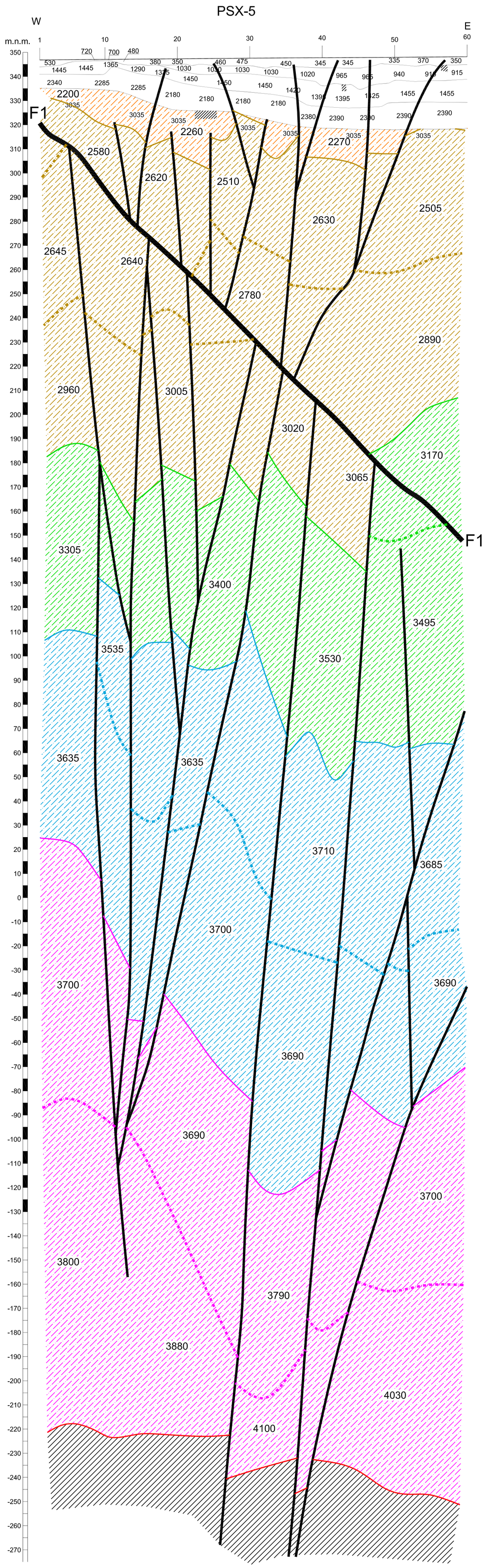
-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

POSSIVEL ATRIBUIÇÃO GEOLOGICA

Mais ou menos compacto e são de acordo com sua velocidade e número de falhas.

Fundo Acústico

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: CORTE SÍSMICO OBTIDO E POSSIVEL CORRELAÇÃO GEOLÓGICA DO **PSX-3**	PLANO: 5



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1450 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

720 700 480
1445 1365 1290
2285 2285
-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3530 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

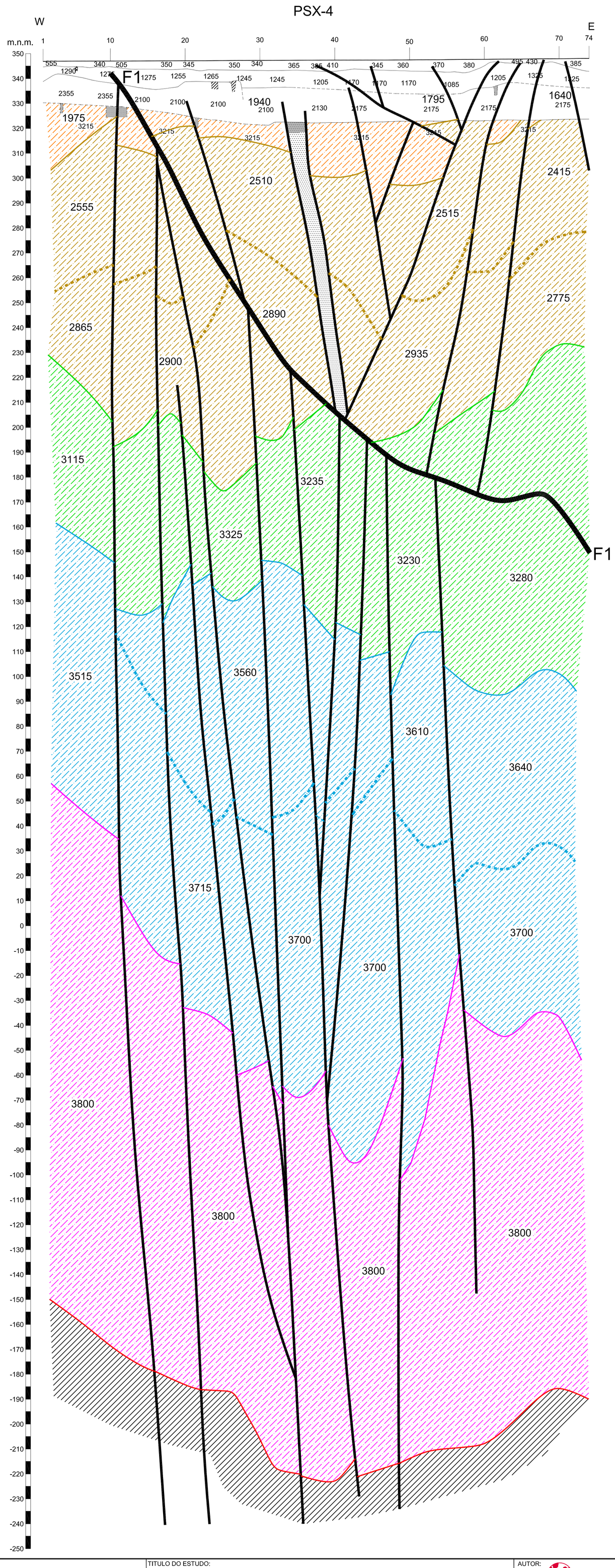
-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

POSSIVEL ATRIBUIÇÃO GEOLOGICA

Xistos e micaxistos silúricos
Mais ou menos compacto e são de acordo
com sua velocidade e número de falhas.

Fundo Acústico

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: CORTE SÍSMICO OBTIDO E POSSIVEL CORRELAÇÃO GEOLÓGICA DO **PSX-5**	PLANO: 7



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1245 -Velocidade en m/s.

-Possible zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

345 350 1265 1245 2100 -Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3230 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

-Possível zona muito fracturada.

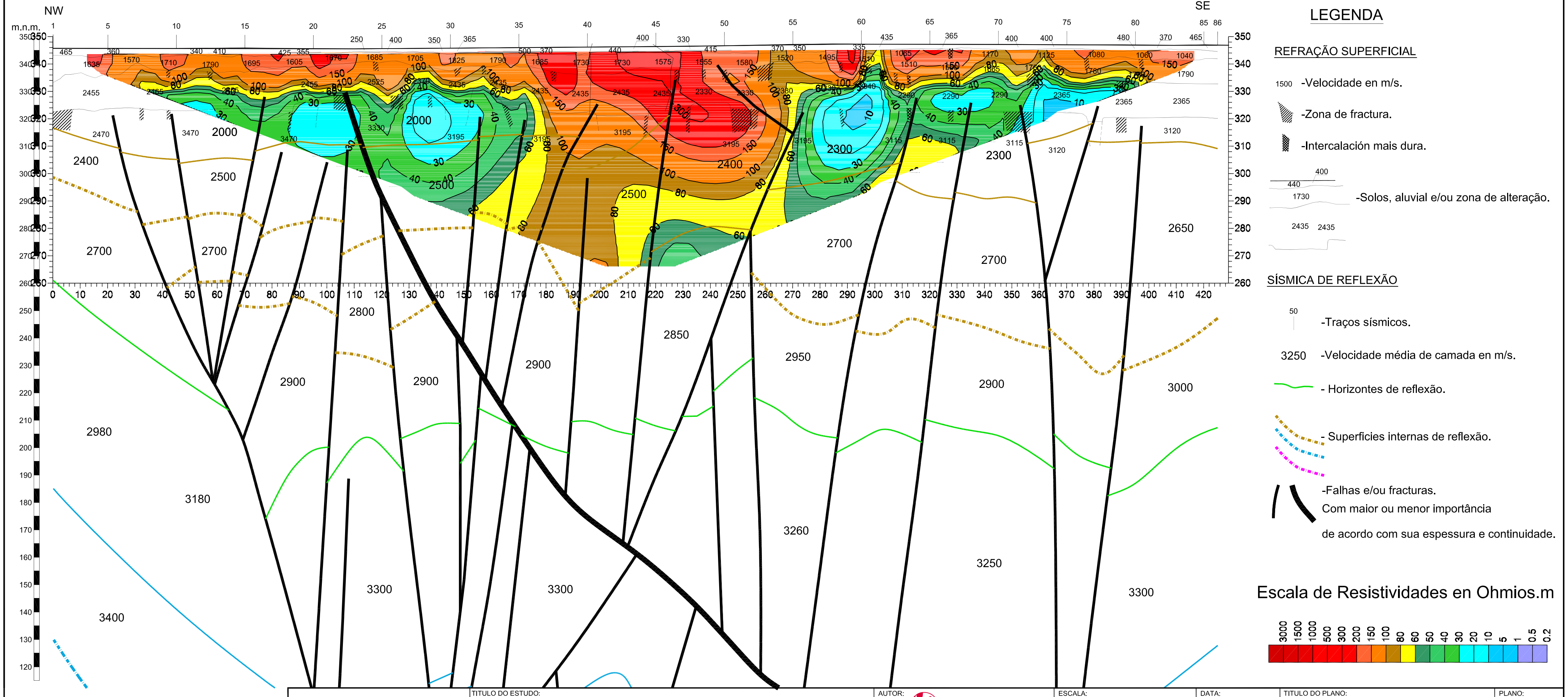
POSSIVEL ATRIBUIÇÃO GEOLOGICA

Mais ou menos compacto e são de acordo com sua velocidade e número de falhas.

Fundo Acústico

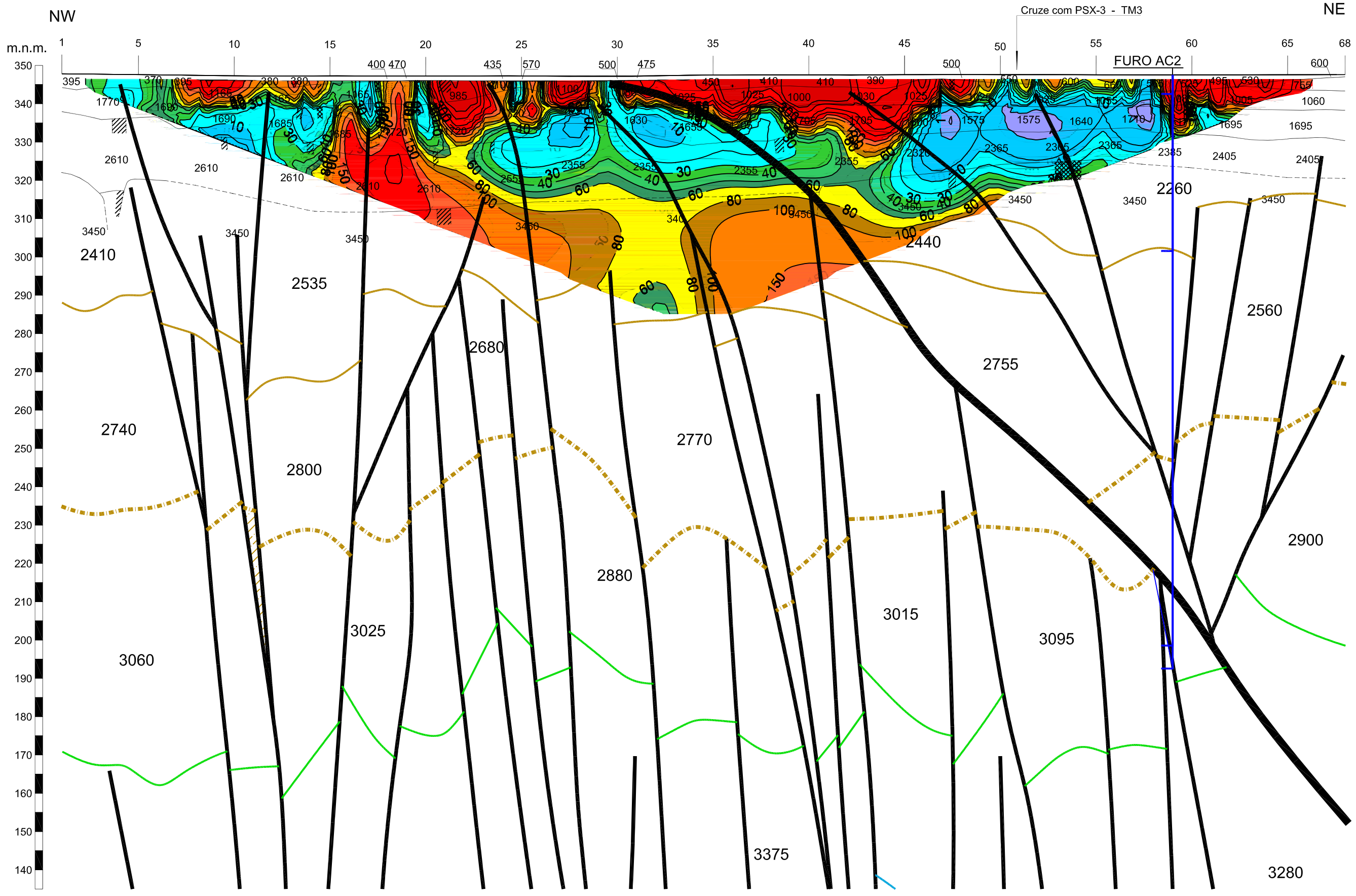
MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: CORTE SÍSMICO OBTIDO E POSSIVEL CORRELAÇÃO GEOLÓGICA DO **PSX-4**	PLANO: 6

PSX-1 - TM1



MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 1: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 9

PSX-2 - TM2



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1700 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

410 410
1000
1705
-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3375 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

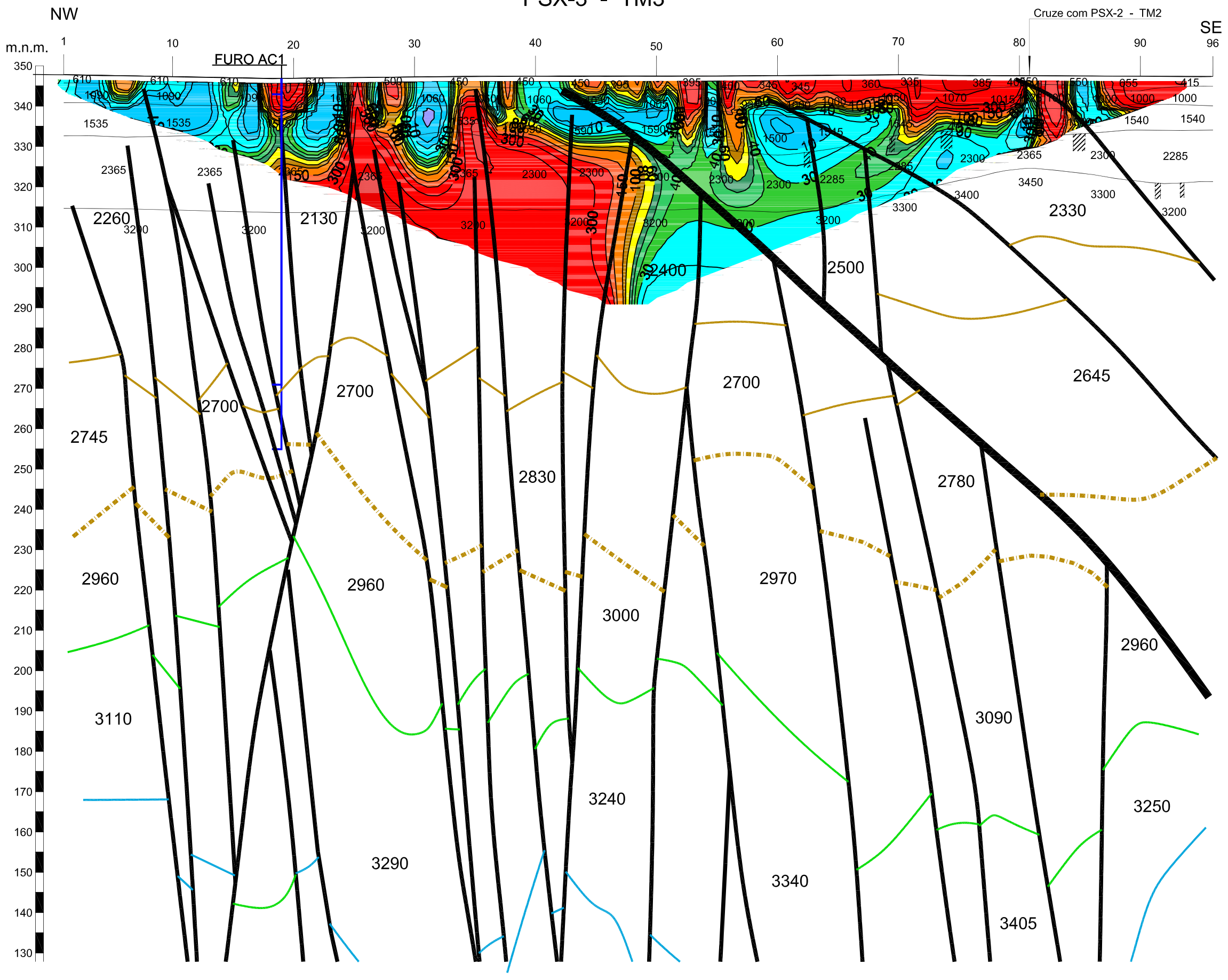
-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

Escala de Resistividades en Ohmios.m

3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 2: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 10

PSX-3 - TM3



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1500 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

410 410
1000
1705
-Solos, aluvial e/ou zona de alteración.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3250 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

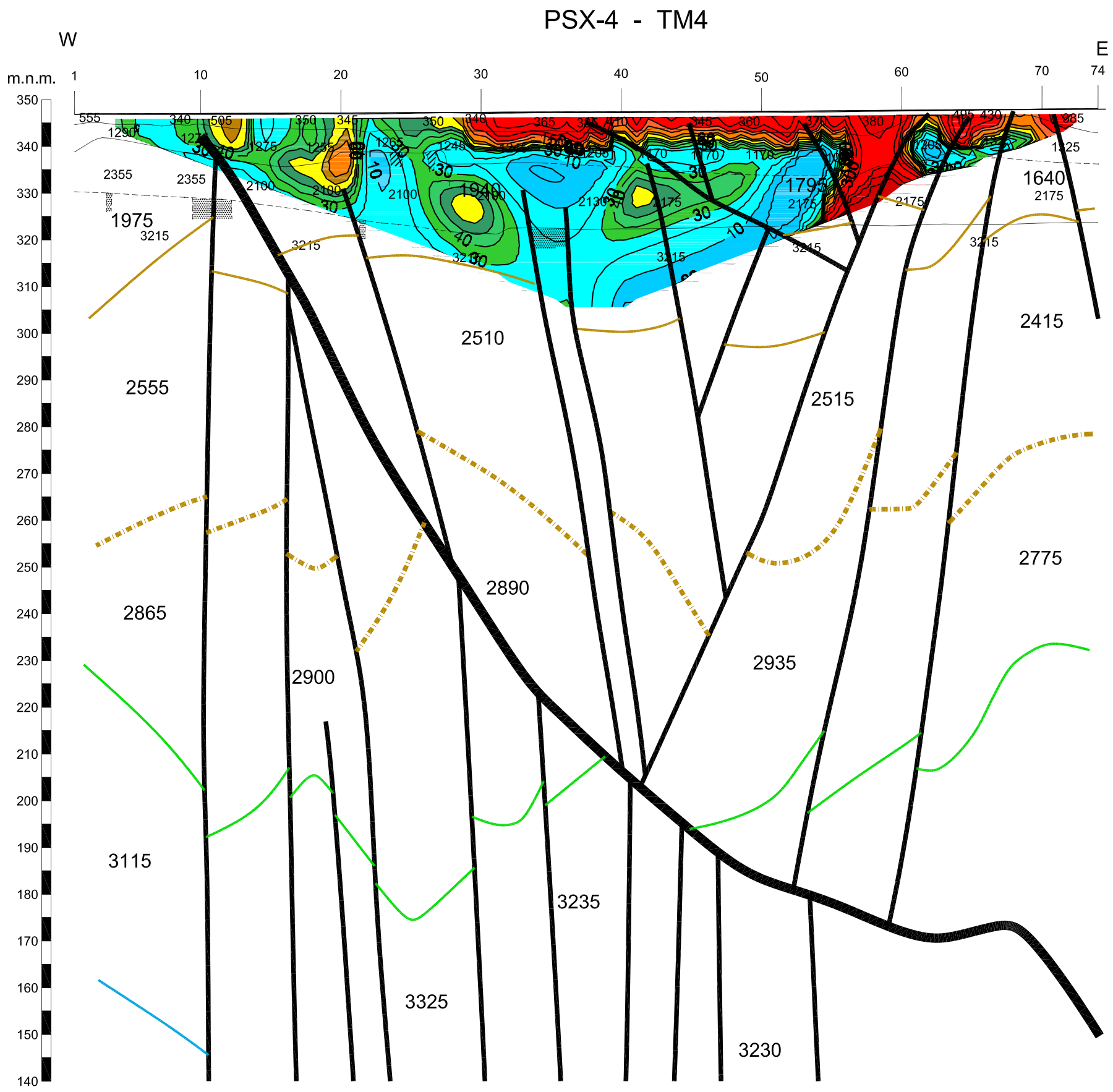
- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

Escala de Resistividades en Ohmios.m

3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 3: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 11



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1245 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

-Traços sísmicos.

3230 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

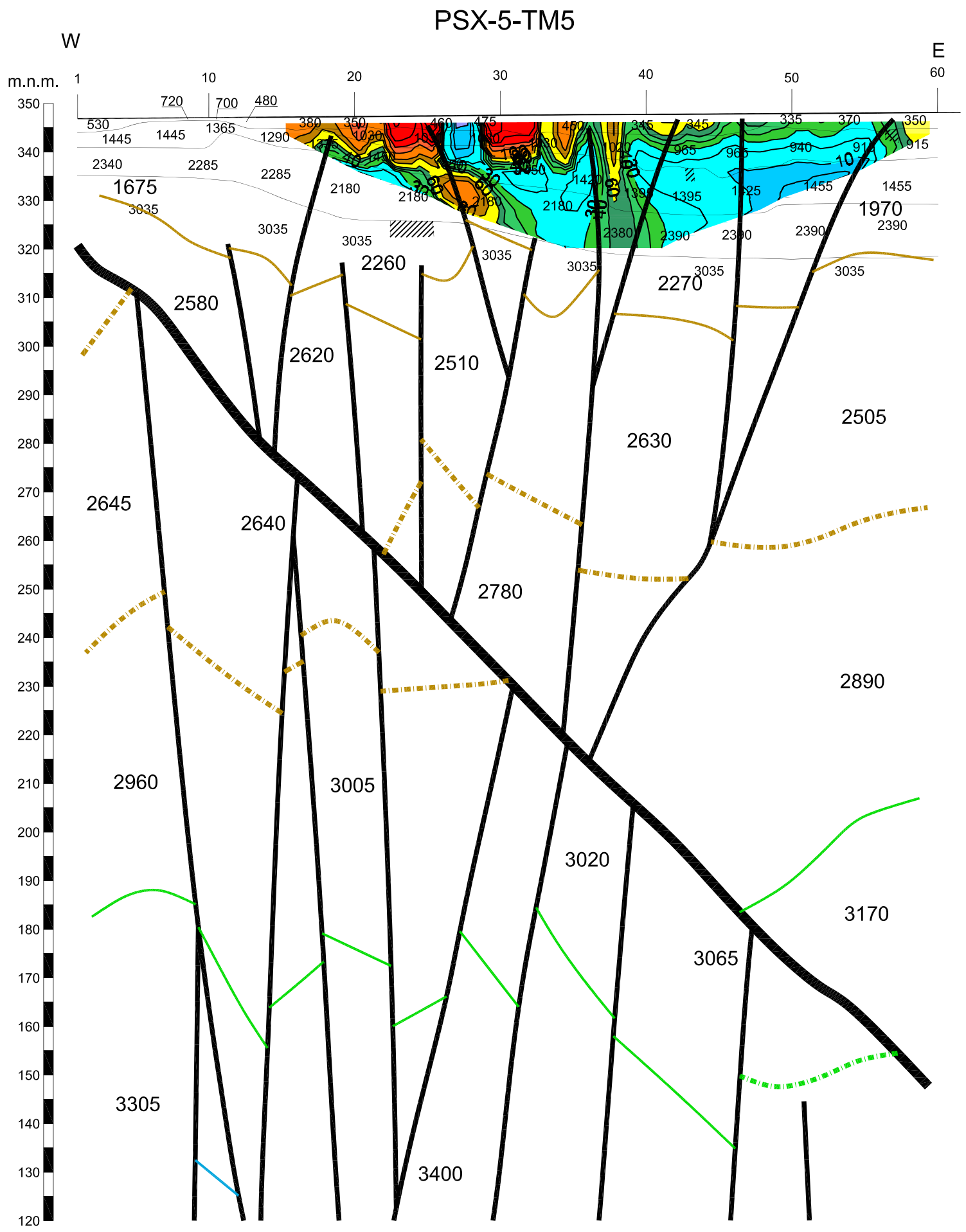
- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

Escala de Resistividades en Ohmios.m

3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 4: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 12



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1450 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

720 700 480
1445 1365 1290
2285 2285

-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

50 -Traços sísmicos.

3530 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

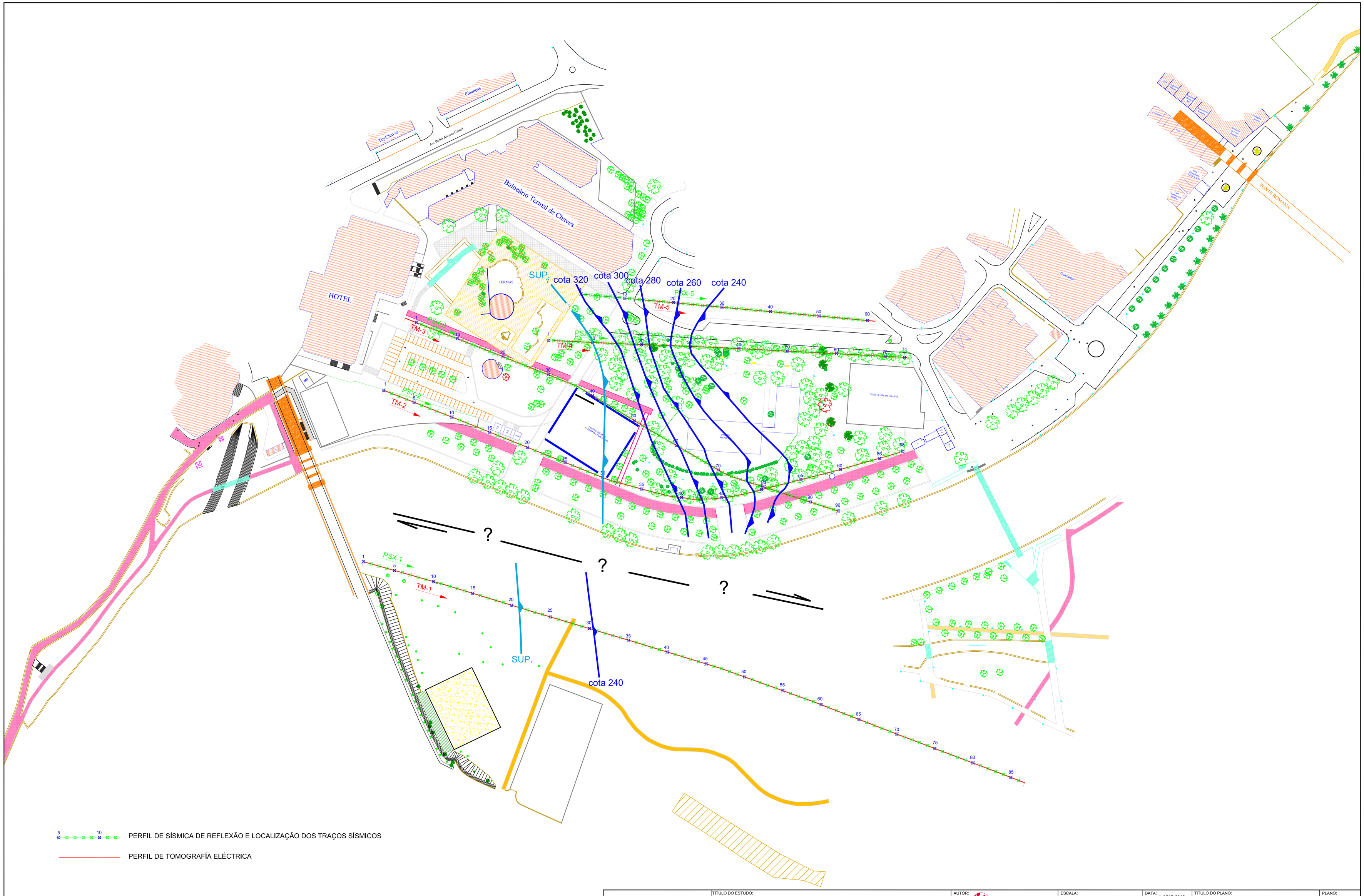
- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

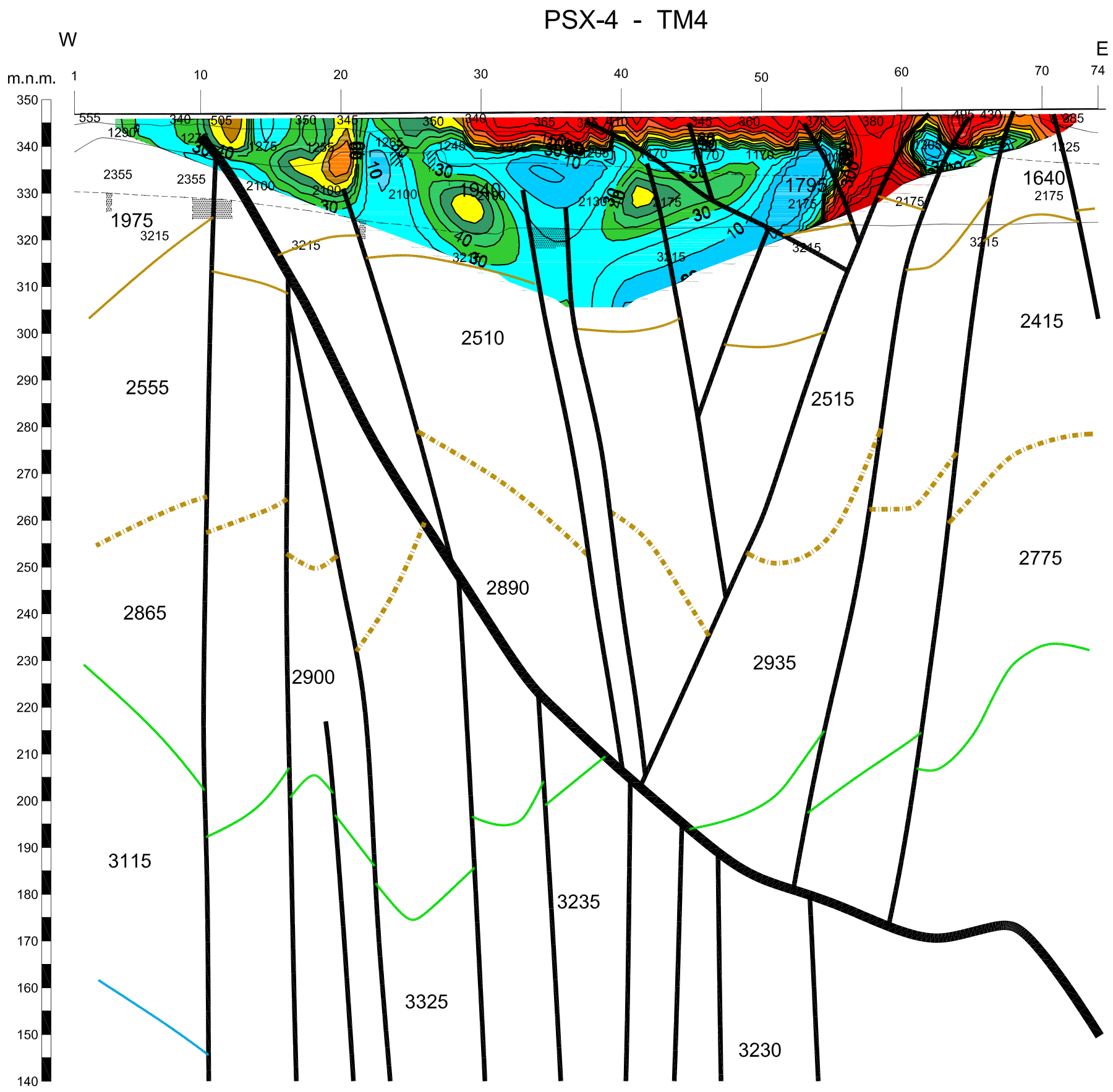
Escala de Resistividades en Ohmios.m

3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 / CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 5: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 13



MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 / CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: EVOLUCION DA FALHA PRINCIPAL F1 EM PROFUNDIDADE.	PLANO: 8



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1245 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

-Traços sísmicos.

3230 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

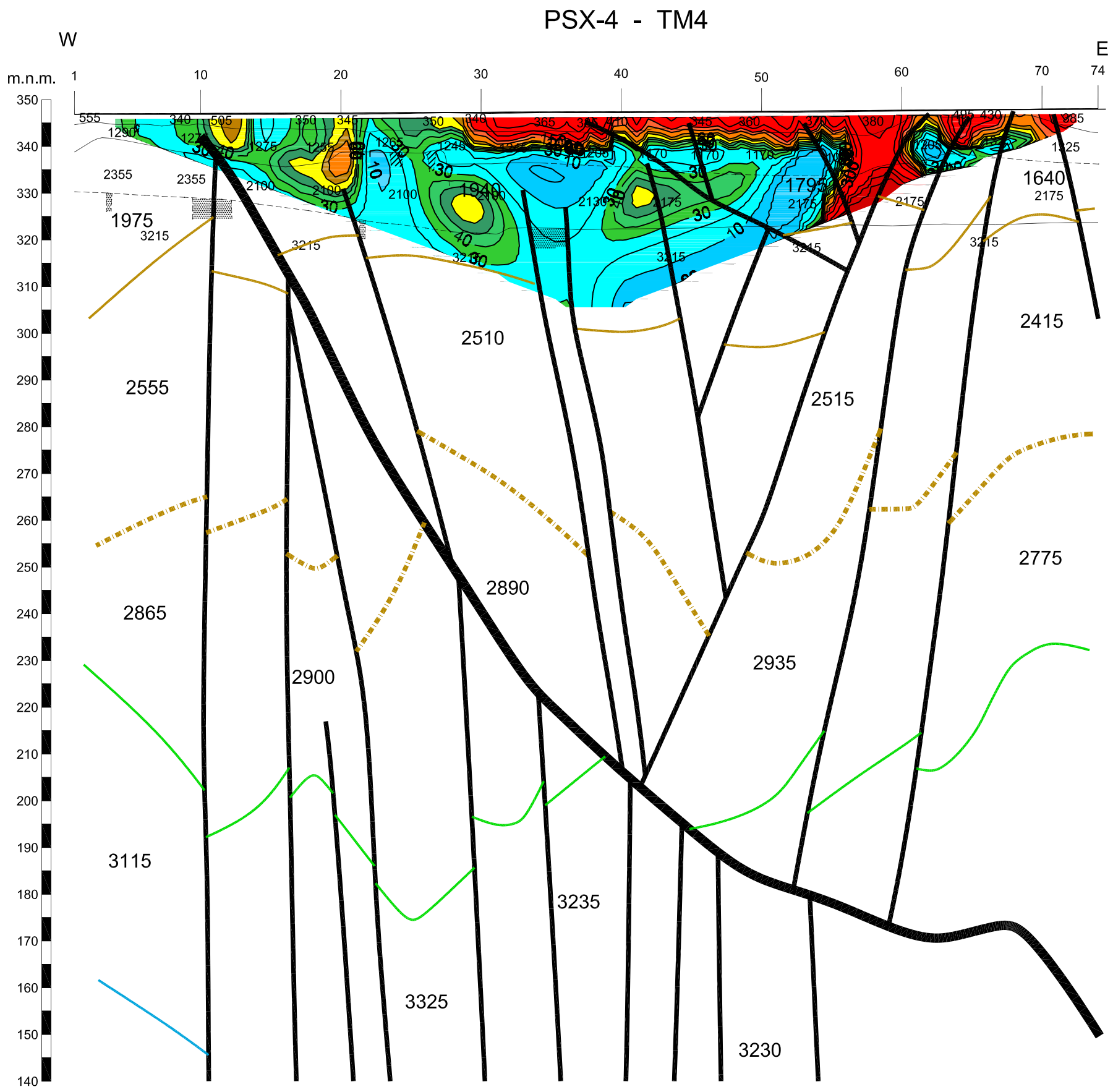
- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

Escala de Resistividades en Ohmios.m

3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 4: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 12



LEGENDA

REFRAÇÃO SUPERFICIAL

1245 -Velocidade en m/s.

-Zona de fractura.

-Intercalación mais dura.

-Solos, aluvial e/ou zona de alteração.

SÍSMICA DE REFLEXÃO

-Traços sísmicos.

3230 -Velocidade média de camada en m/s.

- Horizontes de reflexão.

- Superficies internas de reflexão.

-Falhas e/ou fracturas.
Com maior ou menor importância
de acordo com sua espessura e continuidade.

Escala de Resistividades en Ohmios.m

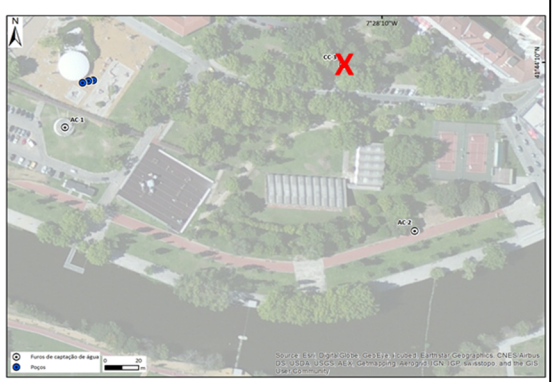
3000 1500 1000 500 300 200 150 100 80 60 50 40 30 20 10 5 1 0.5 0.2

MUNICÍPIO DE CHAVES	TITULO DO ESTUDO: PROSPECÇÃO GEOFÍSICA COM SÍSMICA DE REFLEXÃO E TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA NO LARGO DO TABOLADO DO CHAVES.	AUTOR: OCSA ESTUDIOS GEOFÍSICOS	ESCALA: 1:1000	DATA: JUNHO 2012 CHAVE: 185-12	TITULO DO PLANO: PERFIL 4: SOBREPOSIÇÃO TOMOGRAFÍA ELÉCTRICA - SÍSMICA DE REFLEXÃO	PLANO: 12

Análise da amostragem de CC3

Quadro 1. Identificação da sondagem de pesquisa e captação.

Identificação da sondagem de pesquisa e captação

Identificação		Mapa de localização	Foto
Projecto:	Captação de água mineral tipo "Chaves"		
Objectivo:	Reforço de caudal das Caldas de Chaves		
Designação:	CC3		
Data execução:	09/01/2014 a 06/02/2014		
Localização:	Campos do Tabulado - Chaves		
Coordenadas (x;y):	255088,9; 530025,9 (Lisboa Hayford-Gauss IgeoE)		
Cota:	350		
Profundidade:	208 m		
Orientação / inclinação:	Vertical		
Unidade geológica:	Maciço antigo		
Método de perfuração:	Martelo fundo furo: 0 -186 m		
	Rotary (circulação de água): 186 - 208 m		
Empreiteiro:	Sondalis		

Profundidade	Análise preliminar -Á vista desarmada																														Análise á lupa														Observações		
	Cor	Caracterização da Fragmentação/ Desagregação (%)			Granulometria (%)							Classificação granulométrica					Tipologia do material																														Litologia	
																	Fragmentos rochosos				Aglomerados de material																											
	Descrição	Fragmentos rochosos (ø > 0,5 cm)	Material aglomerado (ø > 0,5 cm)	Material desagregado (ø < 0,5 cm)	2,5-3	2-2,5	1,5-2	1-1,5	0,5-1	0,1-0,5	<0,1 ("pó")	Muito grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito fino	Angulosos com arestas vivas	Angulosos com arestas arredondadas	Arredondados	Irregulares	Algo Arredondados	Filito	Granito	Quartzito	Quartzo	Micaxisto	Filito quartzitico	Quartzo	Moscovite	Biotite	Feldspato (plagioclase)	anfibola	Apatite	Pirite	Matéria vegetal	Observações		Litologia	Grafismo
0 - 0,5	Castanho		40	60						60	40				X					70	30	0,5	3					8	4	2	1	0,5			X	Cerca de 20% terra vegetal.	Os fragmentos rochosos apresentam-se em pouca quantidade, com tamanho reduzido (apenas possível analisar á lupa) e muito alterados; O material aglomerado algo arredondado pertence na sua maioria às fracções menores que 1 cm de diametro.	Aluviões com presença de terra vegetal	
0,5 - 1	Castanho		60	40						60	40				X					40	60	0,5	1					8	4	2	2	1			X	Cerca de 25% terra vegetal.			
1 - 2,3	Castanho escuro		30	70						60	40				X					40	60	0,5	1					4	2	1	0,5				X	Cerca de 40% terra vegetal.			
2,3 - 4,5 (a)	Castanho escuro		30	70						60	40				X					50	50	1	0,5					2	1	1	0,5	0,5			X	Cerca de 40% terra vegetal.			
2,3 - 4,5 (b)	Castanho claro		80	20						60	40				X					40	60	0,5						6	3	2	1	0,5						Aluviões	
4,5 - 8	Castanho claro		90	10						60	40				X					30	70	0,5						6	3	2	1	0,5							
8 - 12	Castanho claro		50	50						60	40				X					10	90	0,5						8	4	3	2	0,5							
12 - 18	Cinzento ligeiramente esverdeado	5	30	65					10	70	20				X				100	20	80	0,5	0,5						8	4	2	1				X	Aglomerados parcialmente envolvidos por um "lodo" argiloso muito brilhante e muito moldável; presença de fragmentos rochosos	Arenoso	Filitos decompostos (solo residual arenoso)	
18 - 19	Cinzento ligeiramente esverdeado	20	35	45				1	9	70	20				X				100	60	40	1							6	3	2	1					Aglomerados parcialmente envolvidos por um "lodo" argiloso muito brilhante e pouco moldavel; Começam a surgir fragmentos de filito (>0,5 cm) em maior quantidade.			

42 - 48	38 - 42	32 - 38	26 - 32	23 - 26	22 - 23	21 - 22	20 - 21	19 - 20	Profundidade		
Cinzento esbranquiçado	Cinzento brilhante	Cinzento brilhante	Cinzento brilhante	Cinzento esverdeado	Cinzento esverdeado	Cinzento esverdeado	Cinzento esverdeado	Cinzento acastanhado	Descrição	Cor	Análise preliminar -Á vista desarmada
100	96	97	100				10	15	Fragmentos rochosos (ø > 0,5 cm)	Caracterização da Fragmentação/ Desagregação (%)	
				60	20	70	30	35	Material aglomerado (ø > 0,5 cm)		
	4	3		40	80	30	60	50	Material desagregado (ø < 0,5 cm)		
20	1	2	25						2,5-3	Granulometria (%)	
20	10	25	30						2-2,5		
30	15	15	10						1,5-2		
10	40	35	25					4	1-1,5		
20	30	20	10				5	6	0,5-1		
	2	1		70	40	5	55	60	0,1-0,5		
	2	2		30	60	95	40	30	<0,1 ("pó")		
x	x	x	x						Muito grosso	Classificação granulométrica	
									Grosso		
									Médio		
				x	x		x	x	Fino		
						x			Muito fino		
100	10	5	10						Angulosos com arestas vivas	Fragmentos rochosos	Tipologia do material
	60	80	70				100	100	Angulosos com arestas arredondadas		
	30	15	20						Arredondados		
				5		40	50	40	Irregulares	Aglomerados de material	
				95	100	60	50	60	Algo Arredondados		
0,5	3	3	3				1	1	Filito	Fragmentos	Análise á lupa
	5	3	3				1		Granito		
									Quartzito		
3	2	3	1						Quartzo		
									Micaxisto		
									Filito quartzitico		
3	3	3	3	8	8	8	8	8	Quartzo	Partículas (material constituído pelos finos presente na base do recipiente)	
2	2	2	2	2	2	4	4	4	Moscovite		
1	2	2	2	4	4	4	2	2	Biotite		
							0,5		Feldspato (plagioclase)		
							0,5	0,5	anfibola		
									Apatite		
									Pirite		
							x		Matéria vegetal		
Cutting com aspecto lavado. Muito pouco "pó" e os minerais que o constituem apresentam granulometria muito muito reduzida; Os fragmentos apresentam oxidação superficial com aspecto de "verdete" com pricipal incidencia nos filitos. Nos quartzos/quartzitos esta caracteristica surge apenas numa ou noutra partícula e apenas superficialmente.	Os fragmentos de menor dimensão correspondem ao quartzo, seguindo-se os fragmentos de granito e por fim os filitos.	Os granitos são a litologia com fragmentos de menor dimensão, seguindo-se os fragmentos de quartzo e por fim os filitos	Os granitos são a litologia com fragmentos de menor dimensão, seguindo-se os fragmentos de quartzo e por fim os filitos	Algo arenoso		Aglomerados muito moldáveis e parcialmente envolvidos por um pó muito brilhante	Presença de fragmentos rochosos	Presença de fragmentos rochosos	Observações		Observações
	Forma - Os fragmentos angulosos correspondem a quartzo, os filitos e granitos apresentam fragmentos com arestas arredondadas; Todos os fragmentos rochosos encontram-se envolvidos num pó cinzento brilhante (proveniente das micas) e muito adesivo aos referidos fragmentos (a adesão do pó poderá indiciar presença de água).							Algo arenoso			
				Os fragmentos rochosos apresentam-se em pouca quantidade, com tamanho reduzido (apenas possivel analisar á lupa) e muito alterados; O material aglomerado algo arredondado pertence na sua maioria às fracções menores que 1 cm de diametro.							
Filão de quartzo	Filitos com apófises graníticas. Materiais alterados e muito fracturados			Filitos decompostos (solo residual arenoso)		Lentícula Siltoargilosa	Filitos decompostos (solo residual arenoso)		Litologia	Litologia	
									Grafismo		

Profundidade	126 - 132	120 - 126	114 - 120	108 - 114	102 - 108	96 - 102	90 - 96	80 - 90	72 - 80	66 - 72	48 - 66
Análise preliminar -À vista desarmada											
Cor – **Descrição**	Cinzento	Cinzento ligeiramente amarelado	Cinzento ligeiramente amarelado	Cinzento amarelado	Cinzento	Cinzento ligeiramente amarelado	Cinzento	Cinzento amarelado	Amarelo acinzentado (oxidado)	Cinzento ligeiramente amarelado	Cinzento brilhante
Caracterização da Fragmentação/ Desagregação (%) – **Fragmentos rochosos (ø > 0,5 cm)**	100	85	40	30	30	25	20	20	10	15	100
Material aglomerado (ø > 0,5 cm)											
Material desagregado (ø < 0,5 cm)		15	60	70	70	75	80	80	90	85	
Granulometria (%) – **2,5-3**											
2-2,5										2	
1,5-2										2	3
1-1,5	10	5							3	5	2
0,5-1	90	80	40	30	30	25	40	20	7	6	95
0,1-0,5		15	25	30	30	30	35	50	35	40	
<0,1 ("pó")			35	40	40	45	25	30	55	45	
Classificação granulométrica – **Muito grosso**											
Grosso	x	x									x
Médio			x	x	x	x	x	x	x	x	
Fino											
Muito fino											
Tipologia do material – **Fragmentos rochosos** – **Angulosos com arestas vivas**	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Angulosos com arestas arredondadas											
Arredondados											
Aglomerados de material – **Irregulares**											
Algo Arredondados											
Análise á lupa – **Fragmentos** – **Filito**	2	2	2	4	4	4	4	4	5	3	3
Granito	0,5			0,5	0,5		0,5	0,5		1	
Quartzito											
Quartzo	0,5	1	1	1,5	0,5	0,5	0,5	1	1	1	0,5
Micaxisto	1	1	1	0,5	1	0,5	0,5	1,5			
Filito quartzitico											
Partículas (material constituído pelos finos presente na base do recipiente) – **Quartzo**	6	3	4	4	12	4	8	8	8	8	4
Moscovite	3	2	2	2	6	2	4	4	4	4	3
Biotite	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1
Feldspato (plagioclase)	0,5	0,5	0,5	1	1	0,5	1	1		1	0,5
anfibola	1	0,5	1	1	3	1	2	2	1	0,5	
Apatite					0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	
Pirite											
Matéria vegetal			x								
Observações – **Observações**		Pelo menos 1 dos fragmento de quartzo com formato tabular; Vários fragmentos com "verdete" (indício depresença de água).	Pelo menos 2 fragmentos de quartzo em bandas; face à origem do cutting a presença de matéria vegetal devará advir de contaminação	Pelo menos 1 fragmento de quartzo com níveis tabulares	Pelo menos 1 fragmento de quartzo; en camadas; 1 ou outro fragmento rochoso com uma tabulação de quartzo intercalada		Pelo menos 2 pequenos fragmentos de quartzo que parecem bandados	Pelo menos 1 fragmento de quartzo com formato tabular e cerca de 0,5 cm de dimensão	Pelo menos 1 fragmento de quartzo com formato tabular e cerca de 1 cm de dimensão		Aspecto lavado; Os fragmentos de filito resultam nitidamente da influência do martelo fundo furo; Quase totalidade da amostra com dimensão de "gravilha"; A falta de pó poderá indicar circulação de água.
		1 ou outro fragmento de quartzo de dimensão até 0,5 cm									
Litologia – **Litologia** – **Litologia**	Filitos sãos a pouco alterados								Filitos alterados	Filitos sãos a pouco alterados	Filitos sãos
Grafismo											

Profundidade	186 - 192	180 - 186	174 - 180	168 - 174	162 - 168	156 - 162	150 - 156	144 - 150	138 - 144	132 - 138
Análise preliminar -Á vista desarmada										
Cor — **Descrição**	Cinzento amarelado	Cinzento amarelado	Cinzento ligeiramente amarelado	Cinzento amarelado	Amarelo	Amarelo acinzentado	Amarelo acinzentado	Cinzento amarelado	Cinzento amarelado	Cinzento ligeiramente amarelado
Caracterização da Fragmentação/ Desagregação (%) — **Fragmentos rochosos (ø > 0,5 cm)**	5	10	10	16	30	30	70	35	40	58
Material aglomerado (ø > 0,5 cm)										
Material desagregado (ø < 0,5 cm)	95	90	90	84	70	70	30	65	60	42
Granulometria (%) — **2,5-3**										
2-2,5								2		
1,5-2							15		3	
1-1,5			3	1	10	5	30	3	7	3
0,5-1	5	10	7	15	20	25	25	30	30	55
0,1-0,5	20	25	30	30	35	45	20	33	25	40
<0,1 ("pó")	75	65	60	54	35	25	10	32	35	2
Classificação granulométrica — **Muito grosso**										
Grosso							x	x	x	x
Médio					x	x				
Fino	x	x	x	x						
Muito fino										
Tipologia do material — **Fragmentos rochosos** — **Angulosos com arestas vivas**	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100
Angulosos com arestas arredondadas										
Arredondados										
Aglomerados de material — **Irregulares**										
Algo Arredondados										
Análise á lupa — **Fragmentos** — **Filito**	0,5	1	1	0,5			1	3	3	3
Granito					0,5		0,5	0,5	0,5	
Quartzito	0,5	0,5	1,5	1	4	4	2	1,5	1,5	1,5
Quartzo	1,5	1,5	3	1	2	1,5	1	1	1,5	3
Micaxisto				0	0,5	0,5	1	4	3	1
Filito quartzitico	2	2	2	3		0,5	5	2	1	0,5
Partículas (material constituído pelos finos presente na base do recipiente) — **Quartzo**	4	6	4	3	4	3	4	8	4	4
Moscovite	2	0,5	1	1	1	1	2	4	2	2
Biotite	0,5	0,5	1	0,5	0,5	1	0,5	1	1	1
Feldspato (plagioclase)	1	2	1	1	0,5	1	0,5	0,5	0,5	0,5
anfibola	0,5		0,5			0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Apatite							0,5	2	1	
Pirite	1	3	1	1	2	1	1			
Matéria vegetal		x								
Observações — **Observações**	Muitos dos fragmentos presentes são constituidos quase na sua totalidade por quartzo com formato tabular e bandado e muito muito poucas micas; Todos os fragmentos apresentam geometria achatada e regular.				Os quartzitos nestes dois niveis apresentam fragmentos algo achatados mas muito irregulares comparativamente aos niveis anteriores e seguintes; Material algo alterado.		Vários fragmentos de quartzo/quartzito com formato tabular e bandado (prensado).		Vários fragmentos de quartzo com formato tabular e bandado (prensado).	
Litologia — **Litologia** — **Grafismo**	Quartzofilitos				Quartzofilitos com presença de pirite		Filitos quartziticos		Filitos são a pouco alteradso com intercalações de quartzo	
Litologia — **Litologia** — **Litologia**	Alguns filitos quartziticos com menos quartzo na sua constituição face aos 3 niveis anteriores.	Os poucos filitos presentes apresentam muita muita mica	Os poucos filitos presentes apresentam muita muita mica	Estes filitos quartziticos compõe-se por fragmentos de tamanho muito reduzido e com mais quartzo na sua constituição (a camada de micas é finissima) que os vistos no nível 150-156m; Os filitos quartziticos que surgem apartir deste nível são deste género.	80% quartzito branco e 20% quartzo cinzento; Os quartzitos brancos apresentam micas encravadas quase aleatóriamente, muito diferente dos filitos quartziticos com camadas sobrepostas quase geométricamente;. Quartzitos equivalentes aos visualizados no nível anterior (156-162); 20% quartzito branco e 80% quartzo cinzento; os quartzitos brancos apresentam micas encravadas e algum feldspato agregado; Alguns fragmentos de quartzo escuro apresentam pequenissimas particulas de pirite agregadas na superficie.	Praticamente todos os fragmentos com aspecto nitidamente lamelar. É o cutting onde se verifica maior presença e regularidade de fragmentos lamelares, sendo estes bem definidos; Estes filitos quartziticos são constituidos por camadas de quartzo e micas sobrepostas, sendo a camada de quartzo bastante mais espessa que a de micas; Num ou noutro fragmento de filito quartzitico surgem elementos de apatite colada numa das faces.	Um fragmento de quartzito branco bandado, com cerca de 2,5 cm; Começa a surgir filito quartzitico, embora algumas dessas particulas ainda não apresentem tanto quartzo e não tenham um formato tabular tão bem definido como no nível 150-156.	Vários fragmentos de quartzo tabular e bandado, parecem prensados. Muito raros filitos quartziticos; 4 fragmentos de granito vistos a olho nu.	Varios fragmentos de quartzo tabular, 1 dos fragmento com particulas de apatite agregadas numa das faces); alguns fragmentos de quartzo com micas encravadas de forma aleatória e não ordenada por bandas como nos filitos quartziticos).
Grafismo										

Profundidade	Análise preliminar -Á vista desarmada																														Análise á lupa															Observações		Litologia	
	Cor	Caracterização da Fragmentação/ Desagregação (%)			Granulometria (%)							Classificação granulométrica					Tipologia do material																															
																	Fragmentos rochosos				Aglomerados de material				Fragmentos						Partículas (material constituido pelosfinos presente na base do recipiente)									Matéria vegetal	Observações		Litologia	
	Descrição	Fragmentos rochosos (ø > 0,5 cm)	Material aglomerado (ø > 0,5 cm)	Material desagregado (ø < 0,5 cm)	2,5-3	2-2,5	1,5-2	1-1,5	0,5-1	0,1-0,5	<0,1 ("pó")	Muito grosso	Grosso	Médio	Fino	Muito fino	Angulosos com arestas vivas	Angulosos com arestas arredondadas	Arredondados	Irregulares	Algo Arredondados	Filito	Granito	Quartzito	Quartzo	Micaxisto	Filito quartzítico	Quartzo	Moscovite	Biotite	Feldspato (plagioclase)	anfibola	Apatite	Pirite							Litologia	Grafismo
192 - 198	Amarelo acinzentado			100						35	65				x		100							1	2	1	1	5	1,5	1	1,5	0,5		0,5	x	Essencialmente constituido por quartzo; presença considerável de feldspato potássico; Fragmentos muito muito reduzidos. Neste nível, mais de metade das particulas com geometria visivel a olho nu apresentam forma cúbica, ao contrário do formato achatado das litologias até aqui atravessadas; Análise dos fragmentos rochosos apenas possivel com recurso á lupa.	As partículas tem aspecto mais cúbico face aos cuttings anteriores, nesses os fragmentos tem aspecto achatado; Material algo alterado	Granitos???	
198 - 207	Amarelo ligeiramente acinzentado			100							100					x	100							1	2	1	0,5	5	1,5	0,5	1	1				Presença de ortose; Fragmentos muito muito reduzidos, aqui estamos perante uma litologia pelitica; Análise de fragmentos rochosos apenas possivel com recurso á lupa; Este nível, embora constituido por matéria muito fina e de cor amarelada, tratár-se-á de material rochoso são, pois a perfuração realizou-se lentamente.			

Legenda:

#	- Material presente, mas sem expressão (uma ou outra partícula/fragmento)
	-Reduzida (quase inexistente) quantidade de fragmentos rochosos, pelo que os resultados devem ser considerados com alguma cautela.

Observações:

Nos niveis até 150 m de profundidade, os cuttings com maior presença de finos enquadram-se essencialmente onde os filitos são mais representativos. Pelo contrário, os cuttings onde é maior a presença de micaxisto face aos filitos, a presença definos é muito menor.

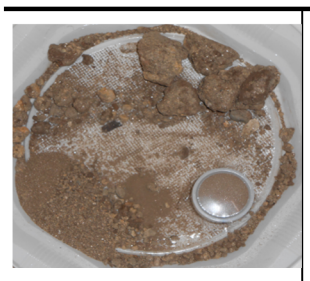
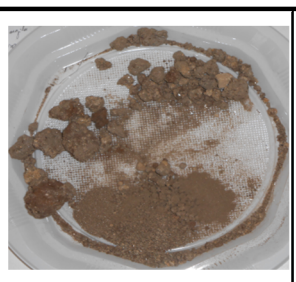
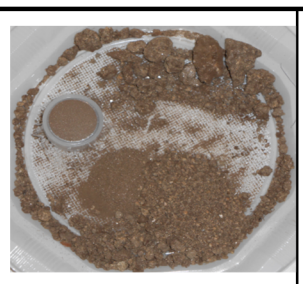
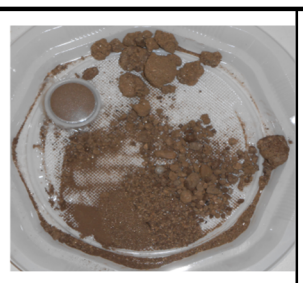
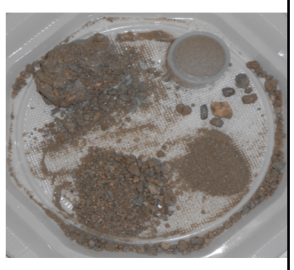
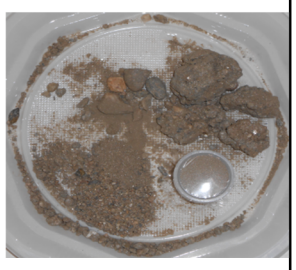
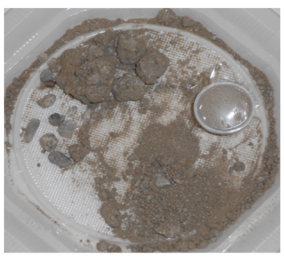
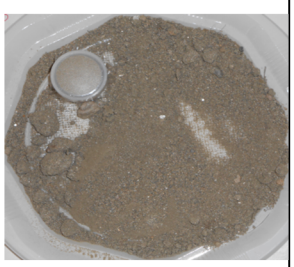
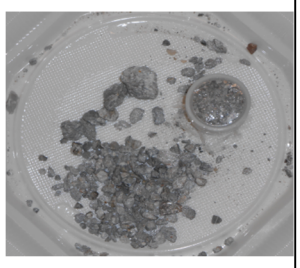
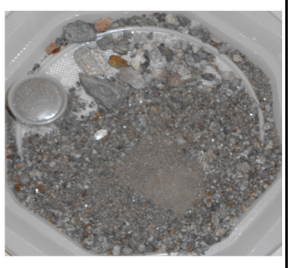
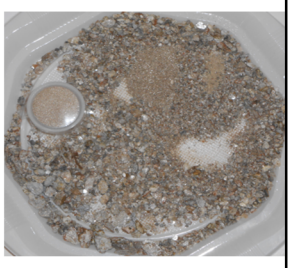
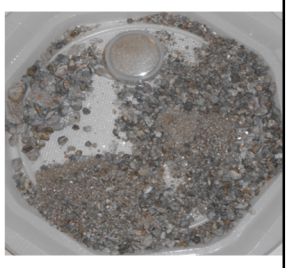
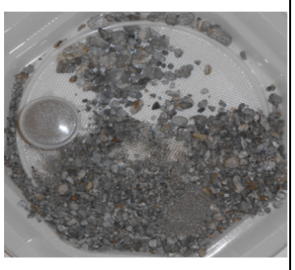
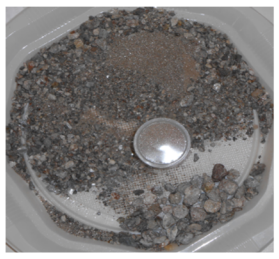
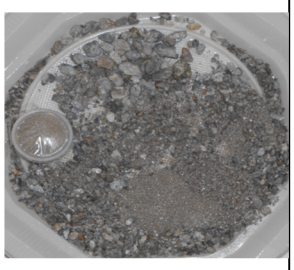
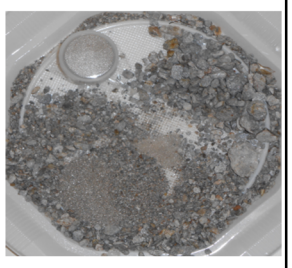
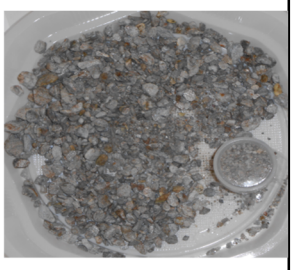
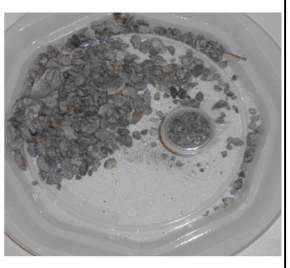
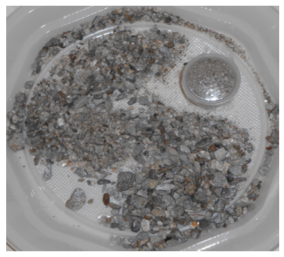
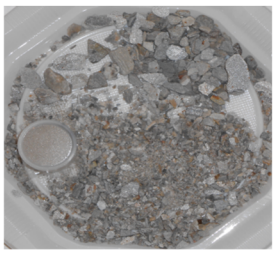
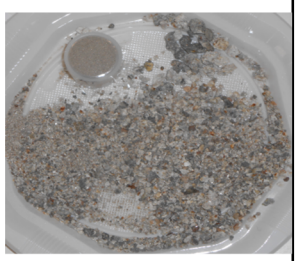
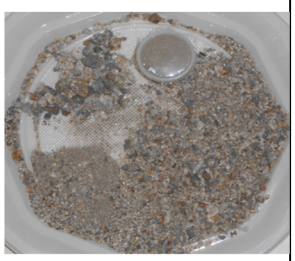
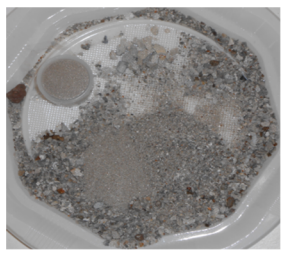
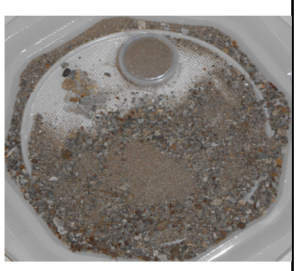
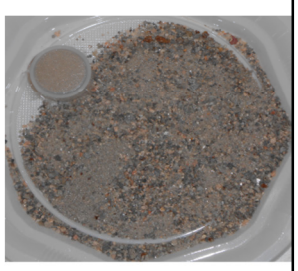
Os minerais de apatite possuem granulometria muito reduzida (mesmo para a visualização á lupa com ampliação de 3 vezes)

A presença de matéria vegetal não foi levada em conta pois parece derivar de contaminação. A sua presença em cuttings de origem rochosa é prova-o.

Após partir um clasto de filito verificou-se que o mesmo é essencialmente constituido por quartzo e moscovite.

A cor cinzenta brilhante das amostras deriva da forte presença de finos constituidos essencialmente por micas

Quadro 2. Apresentação fotográfica dos cuttings da sondagem CC3.

Apresentação fotográfica dos cuttings da sondagem CC3					
					
0 - 0,5	0,5 - 1	1 - 2,3	2,3 - 4,5 (a)	2,3 - 4,5 (b)	4,5 - 8
					
8 - 12	12 - 18	18 - 19	19 - 20	20 - 21	21 - 22
					
22 - 23	23 - 26	26 - 32	32 - 38	38 - 42	42 - 48
					
48 - 66	66 - 72	72 - 80	80 - 90	90 - 96	96 - 102
					
102 - 108	108 - 114	114 - 120	120 - 126	126 - 132	132 - 138
					
138 - 144	144 - 150	150 - 156	156 - 162	162 - 168	168 - 174
					
174 - 180	180 - 186	186 - 192	192 - 198	198 - 207	

Quadro 3. Análise química.

Análise química

Litologia	Profund. (m)	% dos prinicipais elementos presentes nos cuttings							% relativa aos principais elementos presentes					
		Bal	Fe	Ca	K	Al	Si	S	Fe	Ca	K	Al	Si	S
Aluvião c/ presença de terra vegetal	0-0,5	61,2	3,4	0,2	2,7	8,8	22,9	0,0	9,0	0,4	7,1	23,2	60,1	0,1
	0,5-1	57,8	3,5	0,2	3,0	9,2	25,5	< LOD	8,4	0,5	7,1	22,3	61,7	< LOD
	1-2,5	62,6	3,8	0,2	2,6	8,8	21,3	< LOD	10,3	0,4	7,0	24,0	58,3	< LOD
	2,3-4,5A	62,2	3,9	0,2	2,5	8,3	22,0	< LOD	10,4	0,6	6,8	22,4	59,7	< LOD
Aluvião	2,3-4,5B	60,7	2,7	0,3	2,6	7,3	25,6	< LOD	7,0	0,7	6,9	18,9	66,5	< LOD
	4,5-8	61,6	2,7	0,3	2,5	7,0	25,2	< LOD	7,2	0,7	6,7	18,5	67,0	< LOD
	8-12	60,6	2,9	0,3	2,7	7,4	25,4	< LOD	7,4	0,7	7,0	19,2	65,6	< LOD
Filitos decompostos (solo residual arenoso)	12-18	59,8	2,8	0,1	2,9	9,4	24,1	0,0	7,1	0,3	7,4	24,0	61,1	0,1
	18-19	58,8	3,1	0,2	3,1	9,6	24,5	< LOD	7,6	0,4	7,6	23,7	60,8	< LOD
	19-20	60,7	2,6	0,1	2,7	8,4	24,3	0,0	6,8	0,4	7,2	22,1	63,4	0,1
	20-21	58,7	3,8	0,2	2,6	11,0	22,9	< LOD	9,4	0,5	6,3	27,2	56,6	< LOD
Lenticula silto-argilosa	21-22	59,8	3,2	0,1	2,3	8,0	25,8	0,0	8,1	0,2	5,8	20,3	65,5	0,1
Filitos decompostos (solo residual arenoso)	22-23	59,1	4,8	0,1	2,5	10,2	22,4	< LOD	12,0	0,2	6,2	25,5	56,0	< LOD
	23-26	58,4	5,3	0,1	2,4	10,6	22,3	< LOD	12,9	0,2	6,0	26,0	54,8	< LOD
Filitos c/ apófises graníticas. Materiais alterados e muito fracturados	26-32	59,3	3,8	0,3	2,0	12,6	21,1	0,1	9,5	0,8	5,0	31,6	52,9	0,3
	32-38	62,3	4,0	0,3	2,1	11,0	19,4	0,1	10,9	0,7	5,7	29,7	52,5	0,4
	38-42	62,4	4,2	0,2	1,9	10,8	19,5	0,2	11,5	0,4	5,3	29,5	52,9	0,4
Filão quartzo (presença de pirite)	42-48	57,6	8,7	0,2	1,5	9,1	16,6	5,7	20,7	0,4	3,6	21,8	39,8	13,7
Filitos sãos	48-66	68,1	4,3	0,2	1,1	7,6	17,8	0,2	13,8	0,8	3,7	24,4	56,9	0,5
Filitos sãos a pouco alterados	66-72	56,2	11,0	0,8	1,1	9,0	19,6	1,4	25,5	1,9	2,7	20,9	45,7	3,2
Filitos alterados	72-80	56,0	8,9	0,5	1,3	10,0	21,5	1,1	20,5	1,1	3,1	23,1	49,7	2,5
Filitos sãos a pouco alterados	80-90	55,1	6,7	0,4	1,7	11,6	23,1	0,7	15,1	0,8	3,7	26,3	52,4	1,6
	90-96	57,2	9,3	0,4	1,3	9,0	21,5	0,5	22,2	1,0	3,2	21,4	51,1	1,1
	96-102	54,6	11,8	0,5	1,4	7,9	22,1	0,9	26,4	1,2	3,1	17,8	49,6	2,0
	102-108	56,8	10,4	0,5	1,1	7,7	22,0	0,7	24,5	1,2	2,7	18,2	51,8	1,6
	108-114	56,8	10,4	0,4	0,9	10,1	20,1	0,6	24,4	0,9	2,2	23,7	47,4	1,4
	114-120	57,9	5,0	0,2	1,9	12,3	21,9	0,3	12,0	0,5	4,6	29,5	52,7	0,6
	120-126	66,9	5,4	0,5	0,8	6,4	19,1	0,4	16,6	1,4	2,5	19,8	58,5	1,3
	126-132	67,9	6,1	0,3	0,6	6,8	17,1	0,5	19,5	0,8	2,0	21,5	54,5	1,7
Filitos sãos a pouco alterados c/ intercalações de quartzo	132-138	65,8	2,8	0,2	1,6	5,3	23,6	0,3	8,3	0,5	4,8	15,8	69,6	1,0
	138-144	55,1	12,5	0,7	0,9	8,1	19,6	1,9	28,5	1,7	2,2	18,5	44,9	4,3
	144-150	55,0	9,7	0,7	1,3	8,1	23,0	1,4	21,9	1,6	3,0	18,3	52,0	3,2
Quartzo-filitos	150-156	54,3	4,0	0,5	2,0	6,5	31,3	0,9	8,8	1,1	4,3	14,4	69,5	1,9
Quartzo-filitos c/ presença de pirite	156-162	39,4	12,2	0,6	2,5	9,0	25,8	9,7	20,4	1,0	4,1	15,1	43,2	16,2
	162-168	34,4	16,4	0,4	1,9	7,2	24,4	14,4	25,3	0,7	3,0	11,1	37,7	22,2
Quartzo-filitos	168-174	54,8	2,8	1,5	1,5	4,3	32,0	2,7	6,3	3,4	3,3	9,6	71,4	6,0
	174-180	54,9	3,9	0,3	1,4	5,0	31,7	2,3	8,8	0,7	3,2	11,2	71,1	5,1
	180-186	48,2	6,9	0,2	1,4	4,3	31,2	7,0	13,6	0,5	2,7	8,4	61,1	13,8
	186-192	54,8	3,8	0,3	1,1	2,8	32,9	3,7	8,5	0,7	2,5	6,3	73,6	8,4
Granito???	192-198	59,1	4,0	0,3	1,7	4,1	29,6	0,7	9,8	0,7	4,3	10,2	73,3	1,8
	198-207	59,1	3,7	0,2	1,8	4,5	29,7	0,6	9,1	0,5	4,4	11,1	73,5	1,5

Notas:	A análise química efectuou-se sobre os finos que constituem os cuttings de perfuração. A análise química não contempla todos os elementos susceptiveis de comporem as litologias presentes por questões de limitação dos elementos químicos identificados pelo equipamento utilizado.
Listagem dos elementos identificados pelo equipamento:	Sn; Ag; Mo; Nb; Zr; Sr; Rb; As; Pb; W; Zn; Cu; Ni; Co; Fe; Mn; Cr; V; Ti; Ca; K; Al; P; Si; Cl; S; Mg; Ba; Au; B; Be; Bi; Br; C; Cd; Ce Cs; Dy; Er; Eu; F; Ga; Gd; Ge; H; Hf; Hg; Ho; I; In; Ir; La; Li; Lu N; Na; Nd; O; Os; Pd; Pr; Pt; Re; Rh; Ru; Sb; Sc; Se; Sm; Ta; Tb; Tc Te; Th; Tl; Tm; U; Y; Yb.

Diagrafias

Quadro 1. Log Compósito

Quadro 2. Log de condutividade (eléctrica) e de afluxo de água á captação CC3 (ensaio de molinetes).

Composite log

Scale: 1/200

Report N° Unit: Meter

CY	SONDALIS
WELL	CC3
FLD	CHAVES
CTRY	PORTUGAL
CTY	CHAVES

COMPANY	SONDALIS
WELL ID	CC3
FIELD	CHAVES
COUNTRY	PORTUGAL
CITY	CHAVES

Location			
X	Latitude	N 41°44.273	COMPANY DEPTH REF Metal Plate Welded on 9" Casing
Y	Longitude	W 07°28.259	LOG DEPTH REFERENCE Metal Plate welded on 9"casing
Z	Elevation		DIF FROM COMP DEPTH REF 0

DATE	25-26/02/2014	BOREHOLE RECORD			
RUN No	1-2-3-4	BIT	FROM	TO	
TYPE LOG	Composite	8"	47.70m	160m	
DEPTH-DRILLER	207.70m	6"	160m	207m	
DEPTH-LOGGER	207.52m				
BTM LOGGED INTERVAL	207.52m				
TOP LOGGED INTERVAL	0.00m	CASING RECORD			
TYPE FLUID IN HOLE	Water	SIZE	WGT.	FROM	TO
FLUID LEVEL	2.5m	9"	/	0	47.70m
MAX. REC. TEMP.	74.5°C				
OPERATING RIG TIME	2h				
RECORDED BY	J.Fremont / J.Arnaud				
WITNESSED BY	José Martins Carvalho				

RUN NO.	TOOL	SERIAL	TYPE	DETECTORS	FROM	TO
1	Explorer	1509014	Logging	GR/DSCL/Temp/Tilt	207.52m	0.00m
2	Sonic	0929/1331	Logging	GR/CCL/ Sonic 5ft & 3ft	206.50m	39.00m
3	ABI	1334	Logging	CCL/Tilt/ Azimuth/Acoustic Imager	207.50m	0.00m
4	CCTS	1634010	Logging	CCL/ Conductivity/ Temp/Flowmeter	204.31m	42.00m

Glossary

CCL: Casing Colar Locator
GR: Natural Gamma
VP: Primary sonic(Pressure) wave velocity
VS: Secondary sonic (Shear) wave velocity
Tilt: Inclination of the well
TVD: True Vertical Depth

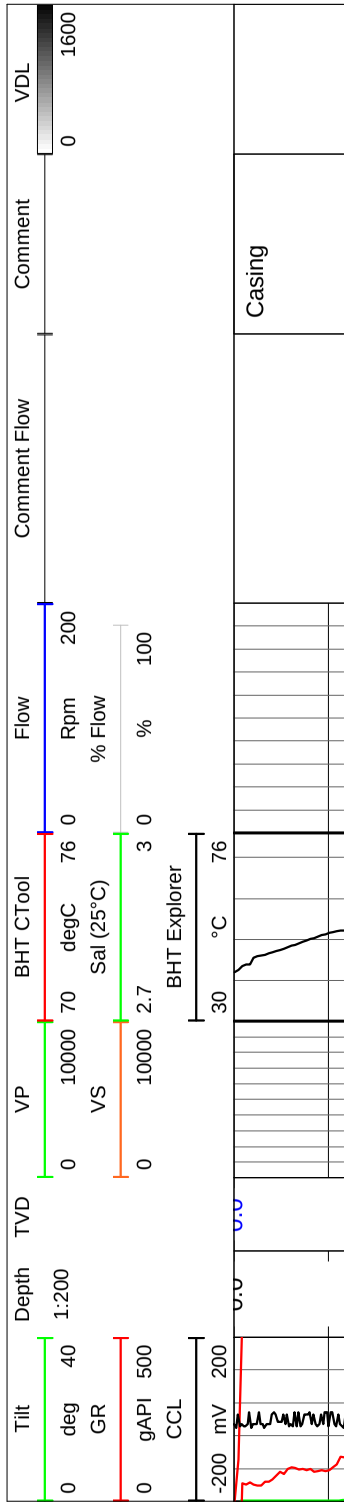
BHT CTool: Temperature from conductivity tool (static flow)
Sal (25°C): conductivity corrected at 25°C
BHT Explorer: Temperature from Explorer tool
Flow : Water flow throught the spinner
%flow: water flow throught the hole in percent
VDL: Variable density log

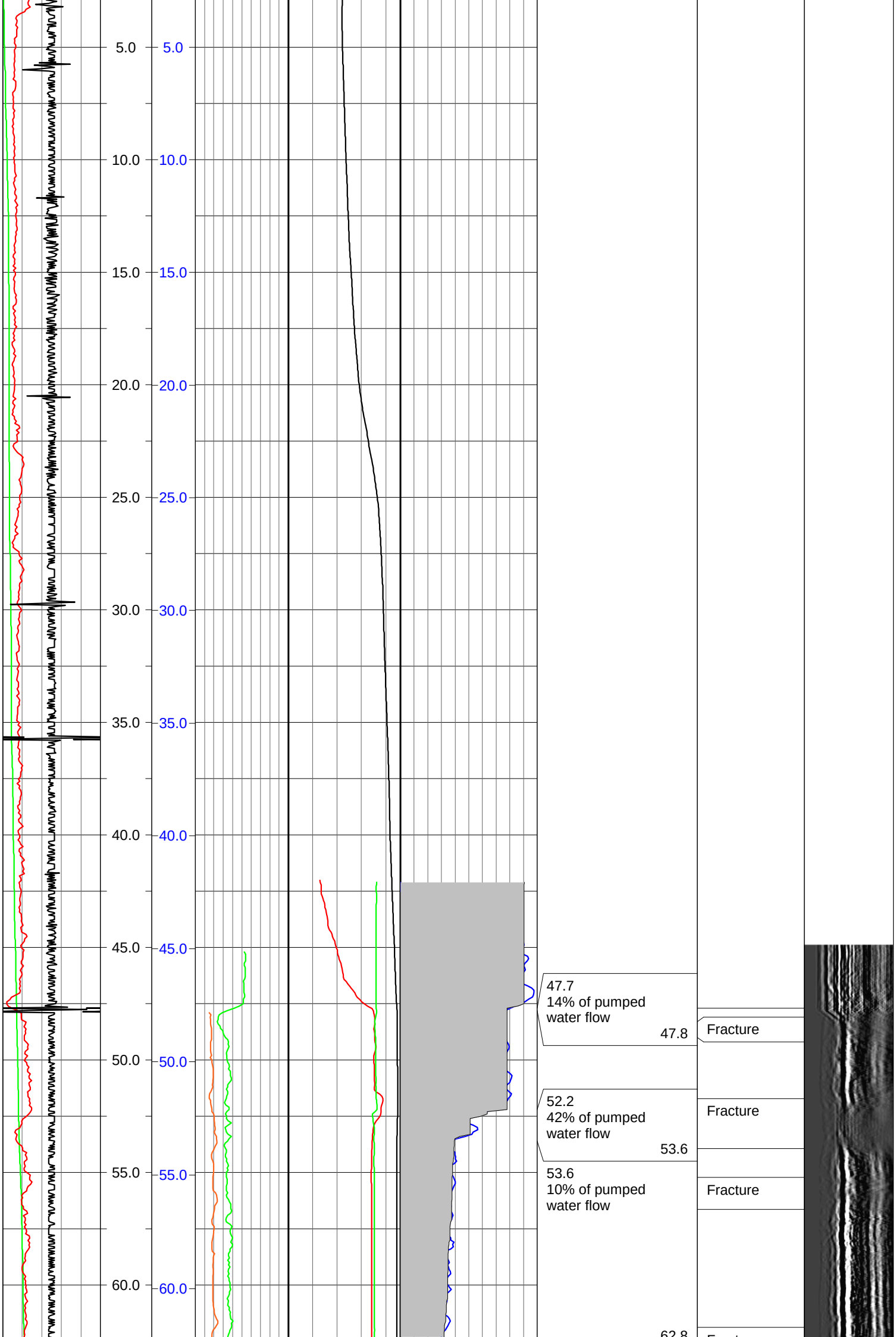
Remarks

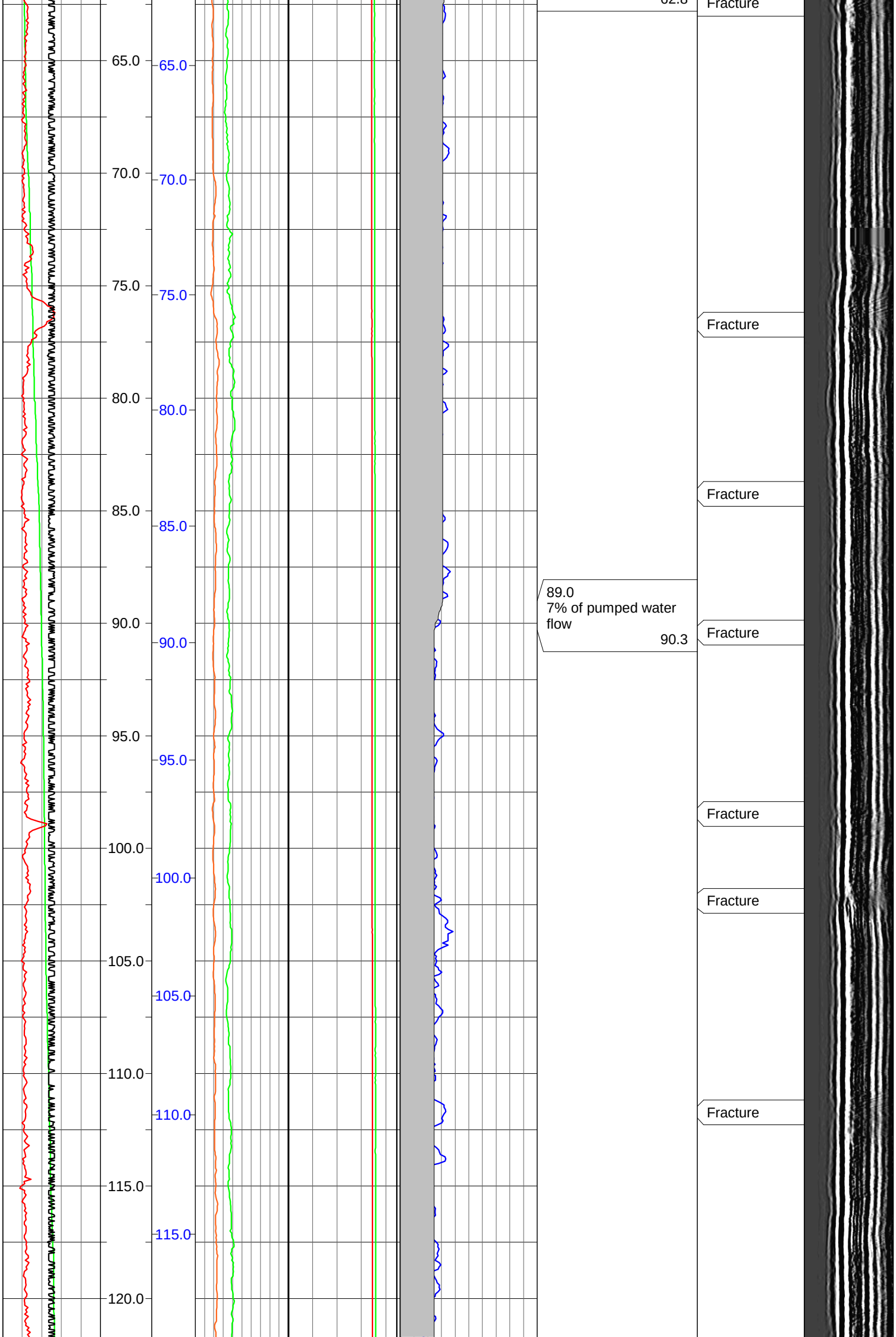
- P wave velocity calibrated on casing velocity DtP. DtP(casing)= 57.1µs/ft

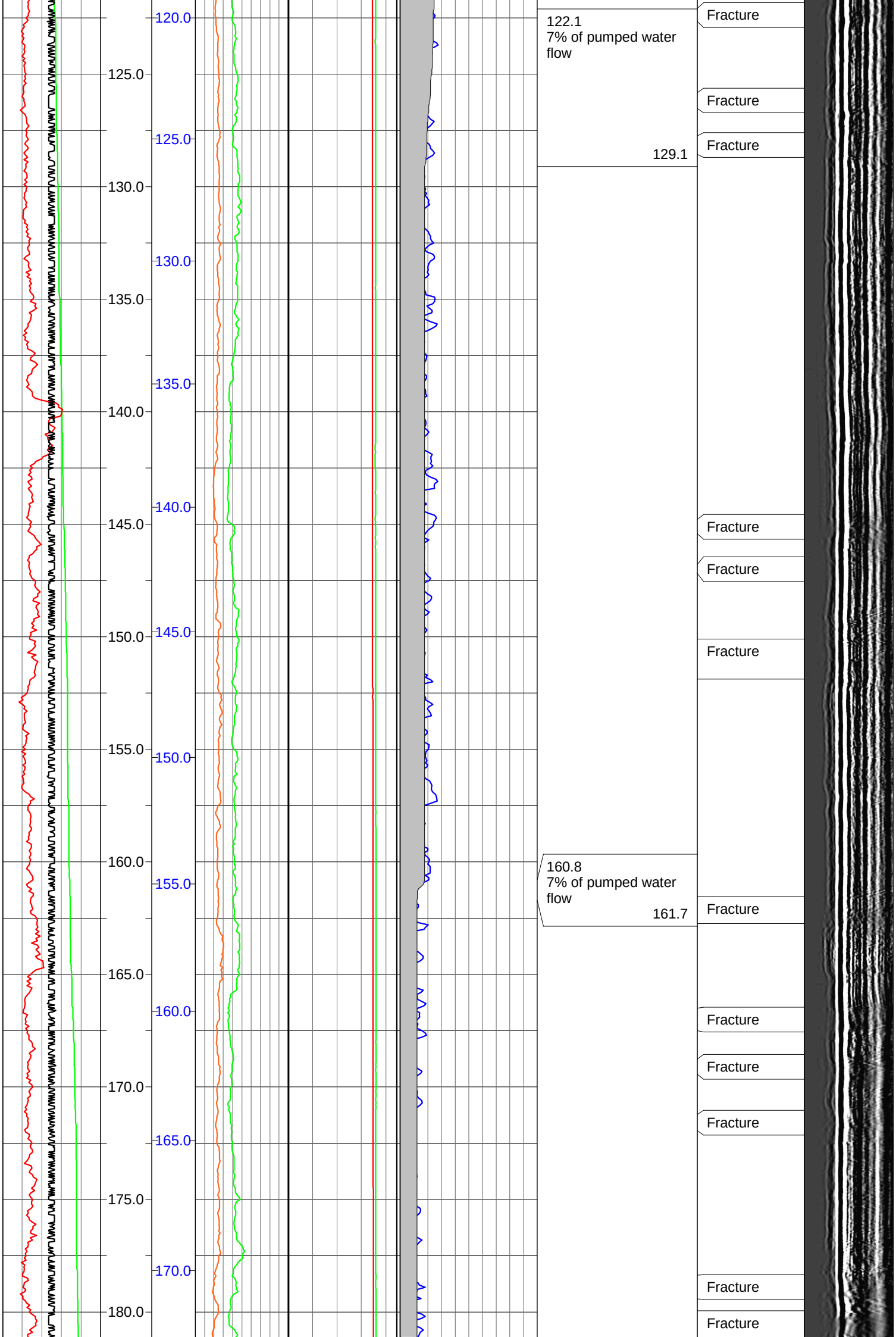
-Pump flow (1.6l/s) insufficient for lower part.

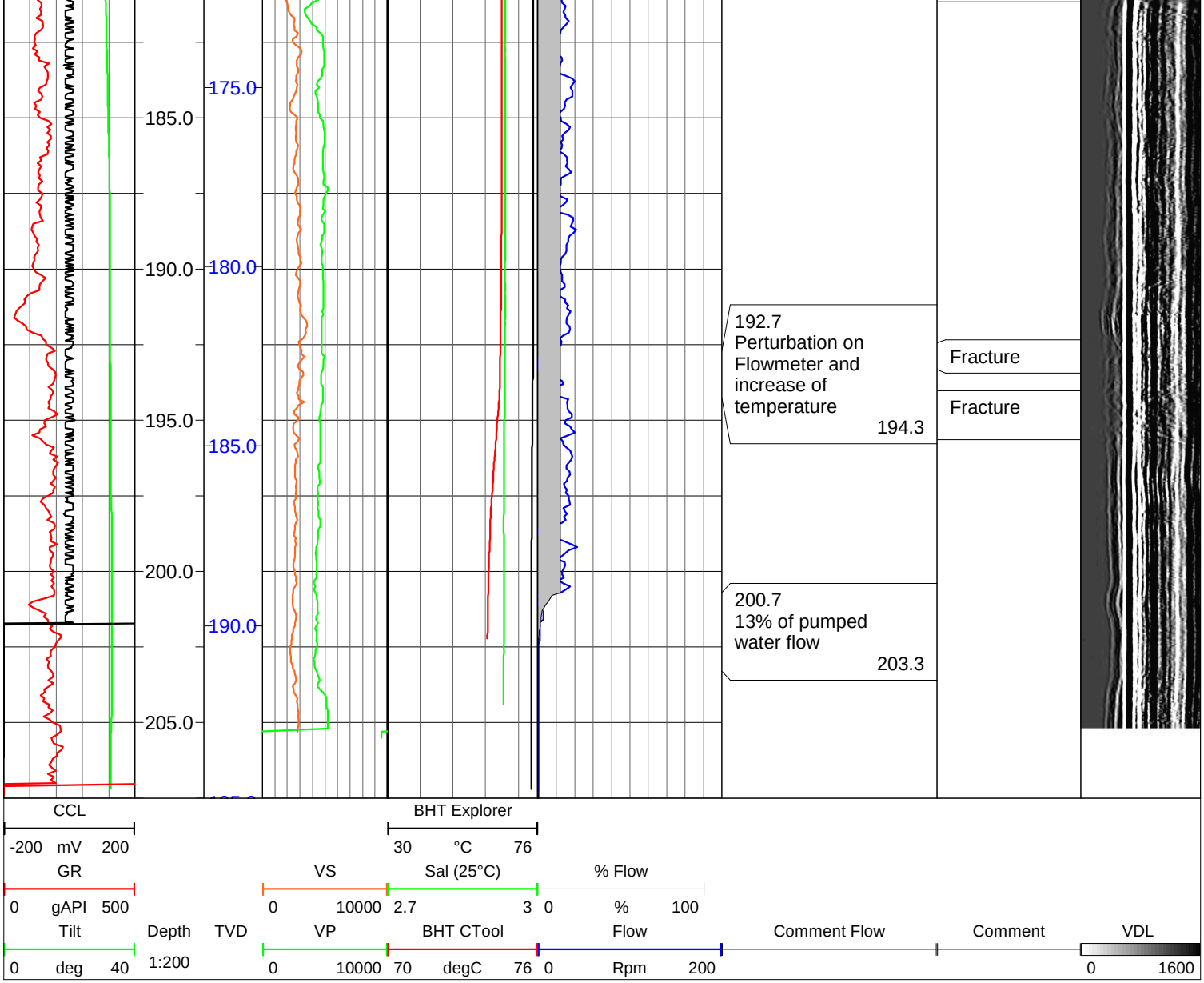
- 9"casing shoe depth at 47.70m.
- Bottom hole depth : 207.52m.




5.0
10.0
15.0
20.0
25.0
30.0
35.0
40.0
45.0
50.0
55.0
60.0
47.7
14% of pumped
water flow
47.8
52.2
42% of pumped
water flow
53.6
53.6
10% of pumped
water flow
62.8
Fracture
Fracture
Fracture


62.8
Fracture
65.0
70.0
75.0
Fracture
80.0
Fracture
85.0
89.0
7% of pumped water flow
90.0
Fracture
90.3
95.0
Fracture
100.0
Fracture
105.0
110.0
Fracture
115.0
120.0


120.0
125.0
130.0
135.0
140.0
145.0
150.0
155.0
160.0
165.0
170.0
175.0
180.0
122.1
7% of pumped water flow
129.1
160.8
7% of pumped water flow
161.7
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture
Fracture


185.0
190.0
195.0
200.0
205.0
175.0
180.0
185.0
190.0
192.7
Perturbation on Flowmeter and increase of temperature
194.3
200.7
13% of pumped water flow
203.3
Fracture
Fracture
CCL
-200 mV 200
GR
0 gAPI 500
Tilt
0 deg 40
Depth
1:200
TVD
VS
0 10000
VP
0 10000
BHT Explorer
30 °C 76
Sal (25°C)
2.7 3
BHT CTool
70 degC 76
% Flow
0 % 100
Flow
0 Rpm 200
Comment Flow
Comment
VDL
0 1600

Conductivity Flowmeter log

Scale: 1/200

Report N° Unit: Meter

CY	CHAVES	COMPANY	SONDALIS
WELL	CC3	WELL ID	CC3
FLD	CHAVES	FIELD	CHAVES
CTRY	PORTUGAL	COUNTRY	PORTUGAL
CTY	CHAVES	CITY	CHAVES

Location			COMPANY DEPTH REF
X	Latitude	N 41°44.273	Metal Plate Welded on 9" Casing
Y	Longitude	W 07°28.259	LOG DEPTH REFERENCE
Z	Elevation		Metal Plate welded on 9"casing
			DIF FROM COMP DEPTH REF
			0

DATE	26/02/2014	BOREHOLE RECORD			
RUN No	4	BIT	FROM	TO	
TYPE LOG	Conductivity / Flowmeter	8"	47.70m	160m	
DEPTH-DRILLER	207.70 m	6"	160m	207m	
DEPTH-LOGGER	207.52 m				
BTM LOGGED INTERVAL	204.32 m				
TOP LOGGED INTERVAL	42.00 m	CASING RECORD			
TYPE FLUID IN HOLE	Water	SIZE	WGT.	FROM	TO
FLUID LEVEL	2.5m	9"	/	0	47.70m
MAX. REC. TEMP.	74.5°C				
OPERATING RIG TIME	2h				
RECORDED BY	J.Fremont / J.Arnaud				
WITNESSED BY	José Martins Carvalho				

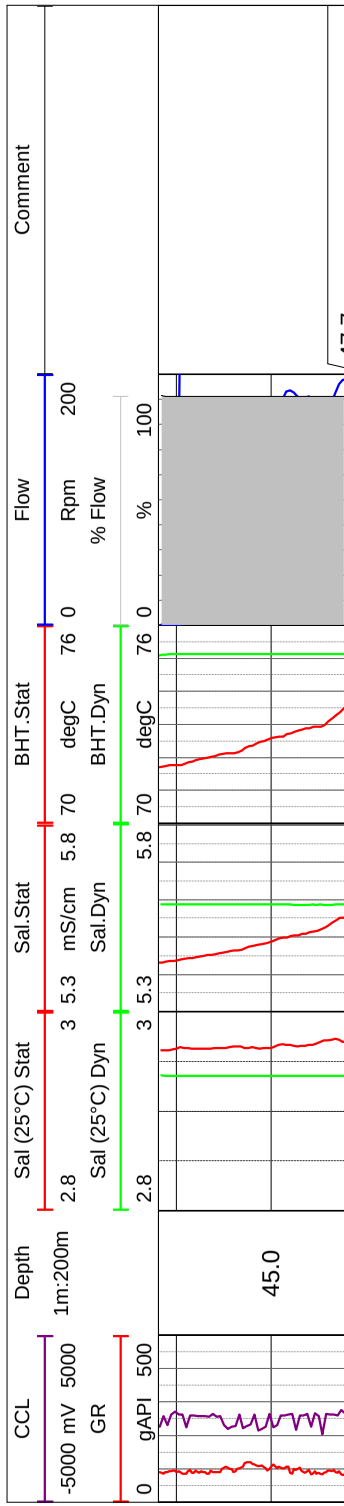
RUN NO.	TOOL	SERIAL	TYPE	DETECTORS	FROM	TO
1	Explorer	1509014	Logging	GR/ DSCL/ Temp/ Tilt	207.52 m	0.00 m
2	Sonic	0929/1331	Logging	GR/ CCL/ Sonic 3ft & 5ft	206.50 m	39.00 m
3	ABI	1334	Logging	CCL/ Tilt/ Azimuth/ Accoustic imager	207.50 m	0.00 m
4	CCTS	1634010	Logging	CCL/Conductivity/temperature/flowmeter	204.31 m	42.00 m

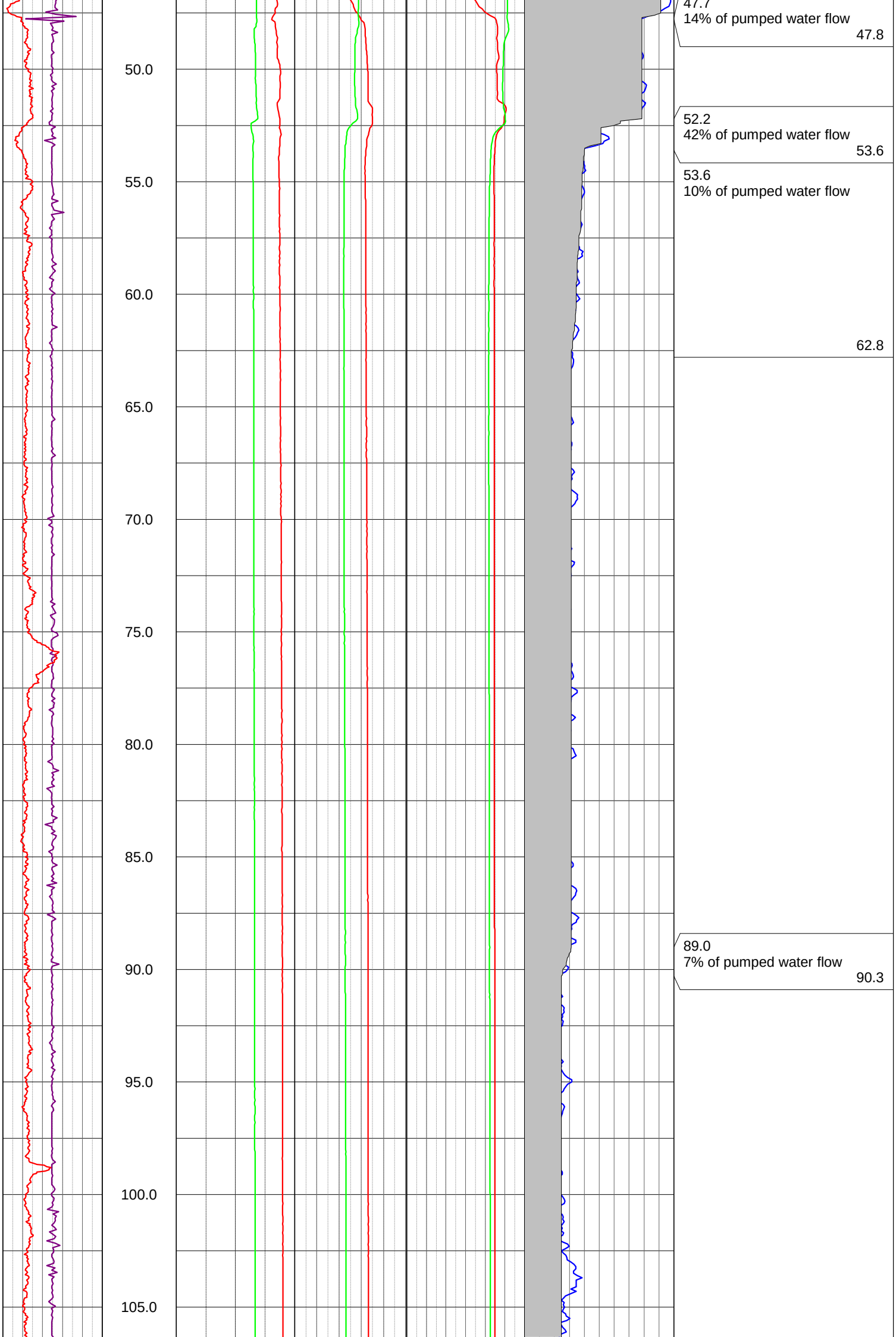
Glossary

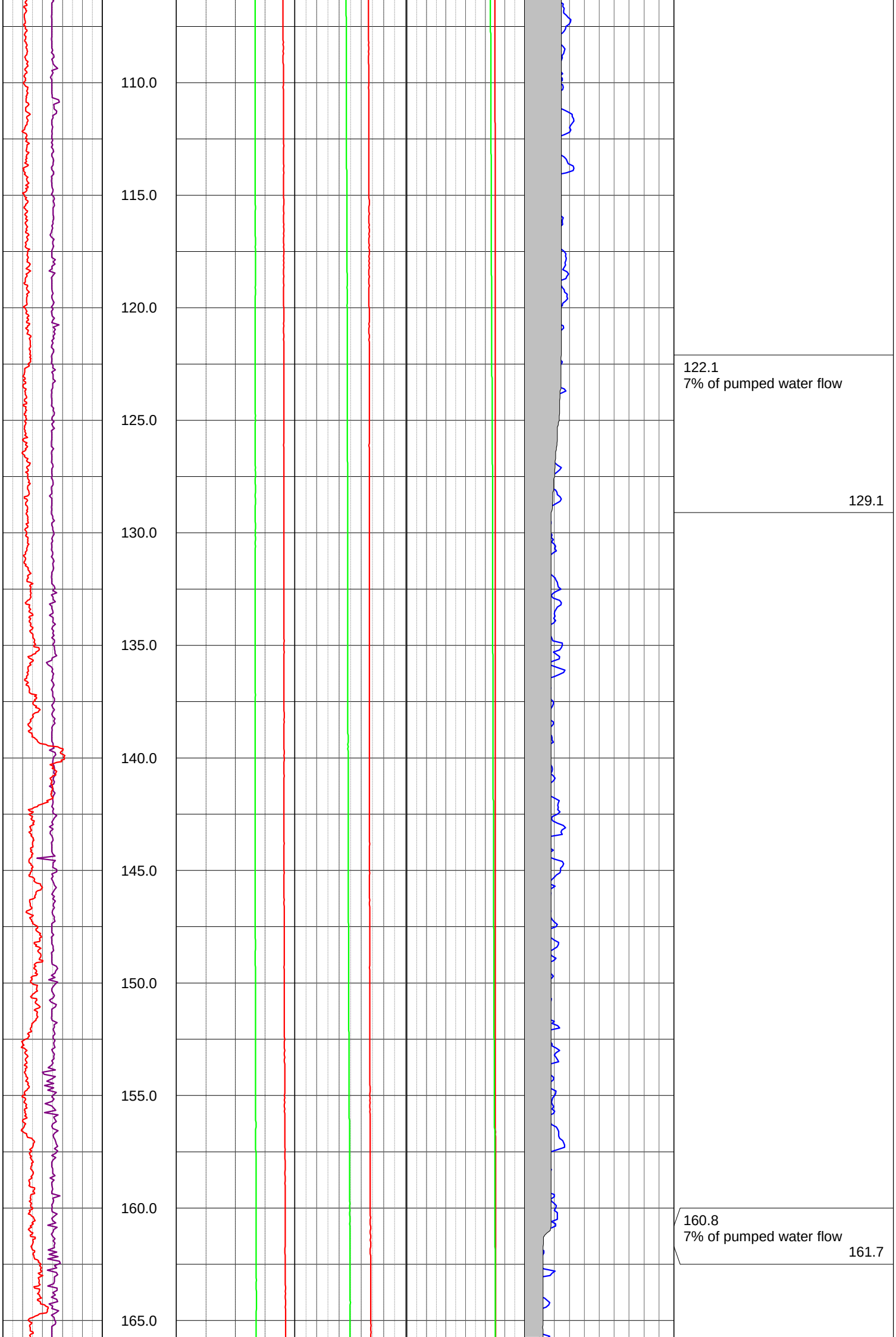
CCL: Casing Colar Locator
GR: Natural Gamma
Sal(25°C) stat : Conductivity corrected at 25°C on static water (Pump off)
Sal(25°C) dyn : Conductivity corrected at 25°C on dynamic water (Pump on)
Sal.stat: Conductivity (Pump off)
Sal.dyn: Conductivity (Pump on)
BHT.stat: Borehole Temperature (Pump off)
BHT.dyn: Borehole Temperature (Pump on)
Flow: Water flow trought the spinner
%flow: water flow trought the hole in percent

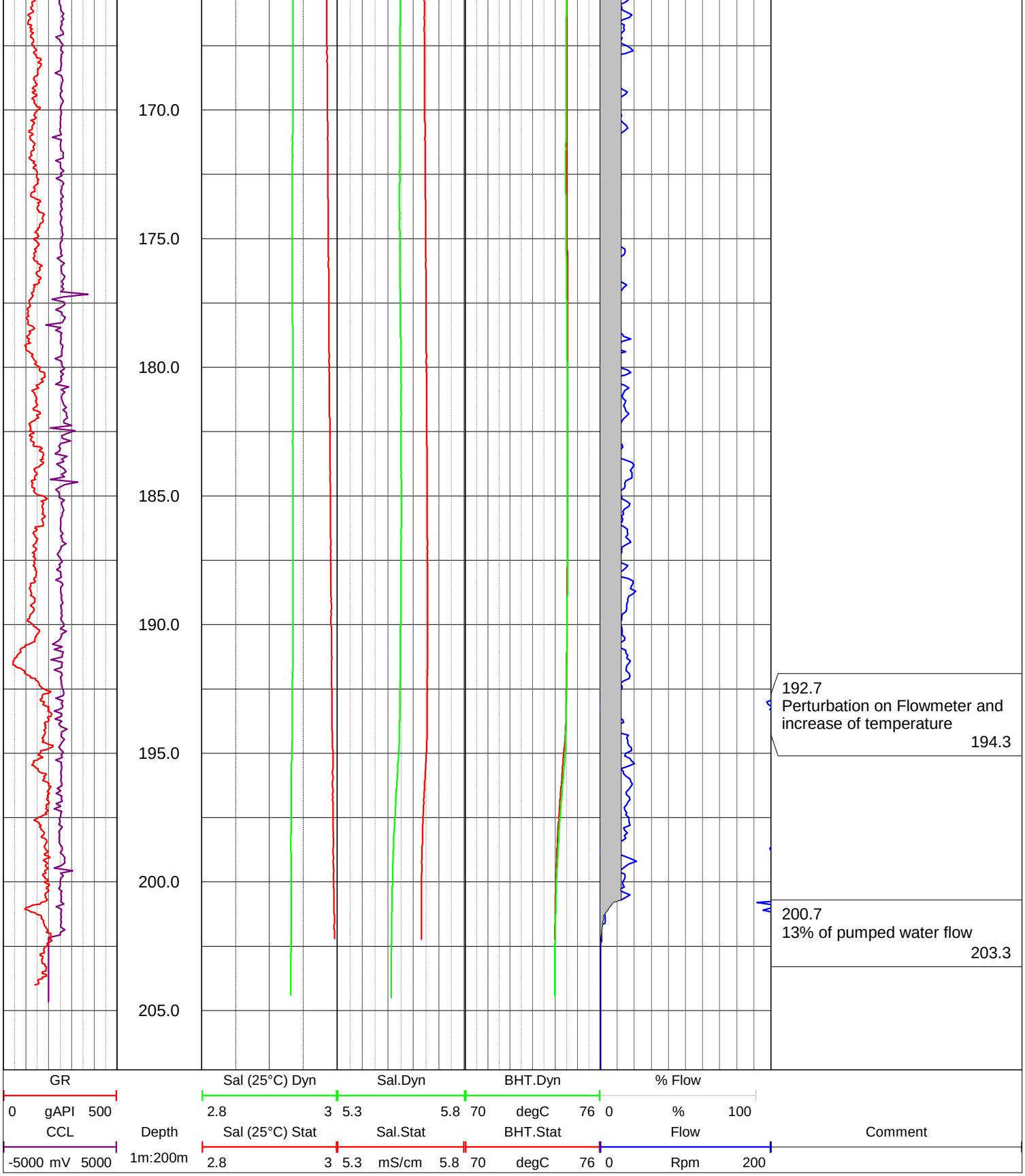
Remarks

- Pump flow : 5.8m3/h ; 1.6l/s
- More than 65.5% of the flow from the 10 first meter above the 9" casing.
- Flow insufficient for lower part




47.7
14% of pumped water flow
47.8
50.0
52.2
42% of pumped water flow
53.6
55.0
53.6
10% of pumped water flow
60.0
62.8
65.0
70.0
75.0
80.0
85.0
89.0
7% of pumped water flow
90.3
90.0
95.0
100.0
105.0


110.0
115.0
120.0
125.0
130.0
135.0
140.0
145.0
150.0
155.0
160.0
165.0
122.1
7% of pumped water flow
129.1
160.8
7% of pumped water flow
161.7


170.0
175.0
180.0
185.0
190.0
195.0
200.0
205.0
192.7
Perturbation on Flowmeter and increase of temperature
194.3
200.7
13% of pumped water flow
203.3
GR
0 gAPI 500
CCL
-5000 mV 5000
Depth
1m:200m
Sal (25°C) Dyn
2.8 3
Sal (25°C) Stat
2.8 3
Sal.Dyn
5.3 5.8
Sal.Stat
5.3 mS/cm 5.8
BHT.Dyn
70 degC 76
BHT.Stat
70 degC 76
% Flow
0 % 100
Flow
0 Rpm 200
Comment

Ensaios de caudal

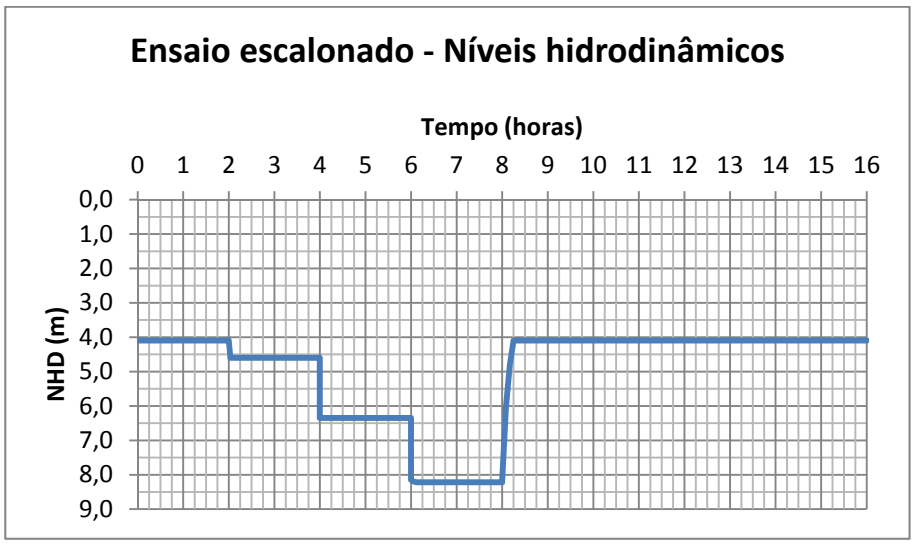
Ensaios de caudal

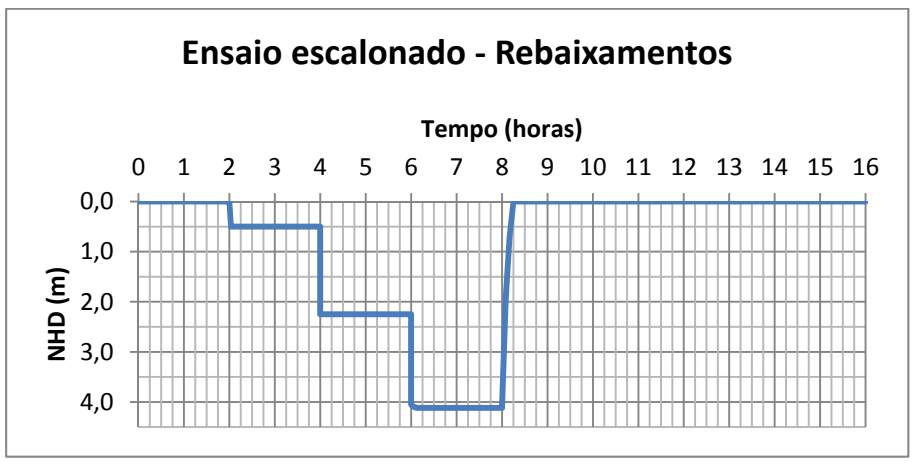
Data de inicio dos ensaios:	12-06-2014
Hora de inicio dos ensaios:	01:00
NHE:	4,10 m (medidos á boca do tubo de revestimento)
Profundidade de instalação da electrobomba:	42 m (medidos á boca do tubo de revestimento)

Ensaio escalonado

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Caudal (l/s)	NHD (m)	Rebaixamento (m)	Regime
1:00	0	0	2,5	4,10	0,00	Extracção - 1º Escalão (2h)
1:02	2	2	2,5	4,10	0,00	
1:04	4	4	2,5	4,10	0,00	
1:06	6	6	2,5	4,10	0,00	
1:08	8	8	2,5	4,10	0,00	
1:10	10	10	2,5	4,10	0,00	
1:15	15	15	2,5	4,10	0,00	
1:20	20	20	2,5	4,10	0,00	
1:25	25	25	2,5	4,10	0,00	
1:30	30	30	2,5	4,10	0,00	
1:35	35	35	2,5	4,10	0,00	
1:40	40	40	2,5	4,10	0,00	
1:45	45	45	2,5	4,10	0,00	
1:50	50	50	2,5	4,10	0,00	
2:00	60	60	2,5	4,10	0,00	
2:10	70	70	2,5	4,10	0,00	
2:20	80	80	2,5	4,10	0,00	
2:30	90	90	2,5	4,10	0,00	
2:45	105	105	2,5	4,10	0,00	
3:00	120	120	2,5	4,10	0,00	
3:00	0	120	5	4,10	0,00	Extracção- 2º Escalão (2h)
3:02	2	122	5	4,60	0,50	
3:04	4	124	5	4,60	0,50	
3:06	6	126	5	4,60	0,50	
3:08	8	128	5	4,60	0,50	
3:10	10	130	5	4,60	0,50	
3:12	12	132	5	4,60	0,50	
3:15	15	135	5	4,60	0,50	
3:20	20	140	5	4,60	0,50	
3:25	25	145	5	4,60	0,50	
3:30	30	150	5	4,60	0,50	
3:35	35	155	5	4,60	0,50	
3:40	40	160	5	4,60	0,50	
3:45	45	165	5	4,60	0,50	
3:50	50	170	5	4,60	0,50	
4:00	60	180	5	4,60	0,50	
4:10	70	190	5	4,60	0,50	
4:20	80	200	5	4,60	0,50	
4:30	90	210	5	4,60	0,50	
4:45	105	225	5	4,60	0,50	
5:00	120	240	5	4,60	0,50	
5:00	0	240	10	6,35	2,25	Extracção - 3º Escxalão (2h)
5:02	2	242	10	6,35	2,25	
5:04	4	244	10	6,35	2,25	
5:06	6	246	10	6,35	2,25	
5:08	8	248	10	6,35	2,25	
5:10	10	250	10	6,35	2,25	
5:12	12	252	10	6,35	2,25	
5:15	15	255	10	6,35	2,25	
5:20	20	260	10	6,35	2,25	
5:25	25	265	10	6,35	2,25	
5:30	30	270	10	6,35	2,25	
5:35	35	275	10	6,35	2,25	
5:40	40	280	10	6,35	2,25	
5:45	45	285	10	6,35	2,25	
5:50	50	290	10	6,35	2,25	
6:00	60	300	10	6,35	2,25	
6:10	70	310	10	6,35	2,25	
6:20	80	320	10	6,35	2,25	
6:30	90	330	10	6,35	2,25	
6:45	105	345	10	6,35	2,25	
7:00	120	360	10	6,35	2,25	
07:00	0	360	15	8,15	4,05	Extracção - 4º escalão (2h)
07:02	2	362	15	8,18	4,08	
07:04	4	364	15	8,20	4,10	
07:06	6	366	15	8,21	4,11	
07:08	8	368	15	8,22	4,12	
07:10	10	370	15	8,22	4,12	
07:12	12	372	15	8,22	4,12	
07:15	15	375	15	8,22	4,12	
07:20	20	380	15	8,22	4,12	
07:25	25	385	15	8,22	4,12	
07:30	30	390	15	8,22	4,12	
07:35	35	395	15	8,22	4,12	
07:40	40	400	15	8,22	4,12	
07:45	45	405	15	8,22	4,12	
07:50	50	410	15	8,22	4,12	
08:00	60	420	15	8,22	4,12	
08:10	70	430	15	8,22	4,12	
08:20	80	440	15	8,22	4,12	
08:30	90	450	15	8,22	4,12	
08:45	105	465	15	8,22	4,12	
09:00	120	480	15	8,22	4,12	

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Caudal (l/s)	NHD (m)	Rebaixamento (m)	Regime
9:00	0	480	0	8,22	4,12	Recuperação (8h)
9:05	5	485	0	6,05	1,95	
9:10	10	490	0	4,80	0,70	
9:15	15	495	0	4,10	0,00	
9:20	20	500	0	4,10	0,00	
9:30	30	510	0	4,10	0,00	
9:45	45	525	0	4,10	0,00	
10:00	60	540	0	4,10	0,00	
10:30	90	570	0	4,10	0,00	
11:00	120	600	0	4,10	0,00	
11:30	150	630	0	4,10	0,00	
12:00	180	660	0	4,10	0,00	
12:30	210	690	0	4,10	0,00	
13:00	240	720	0	4,10	0,00	
13:30	270	750	0	4,10	0,00	
14:00	300	780	0	4,10	0,00	
14:30	330	810	0	4,10	0,00	
15:00	360	840	0	4,10	0,00	
15:30	390	870	0	4,10	0,00	
16:00	420	900	0	4,10	0,00	
16:30	450	930	0	4,10	0,00	
17:00	480	960	0	4,10	0,00	





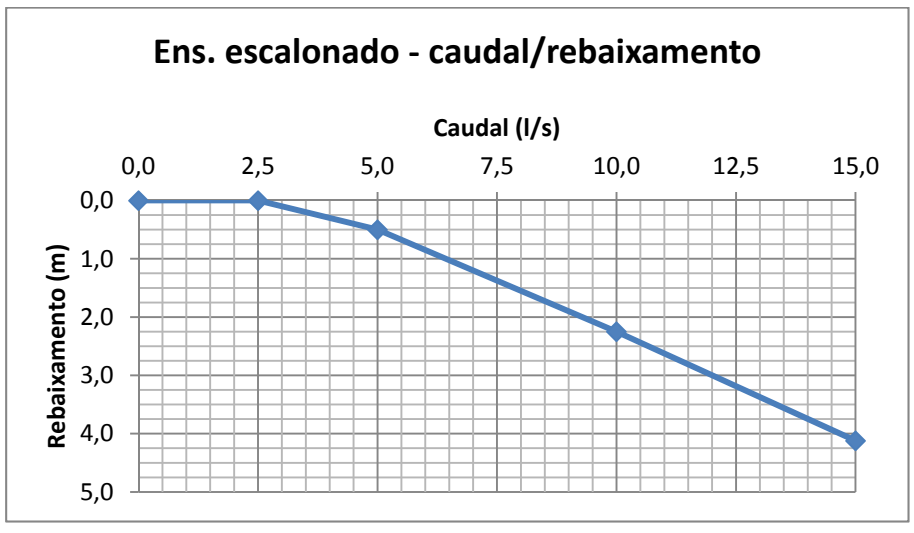
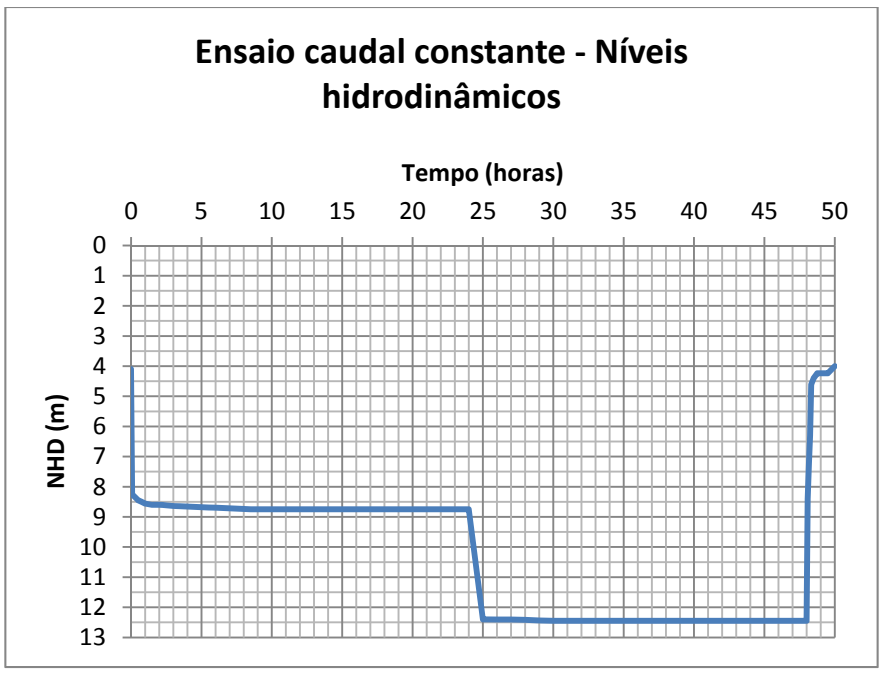


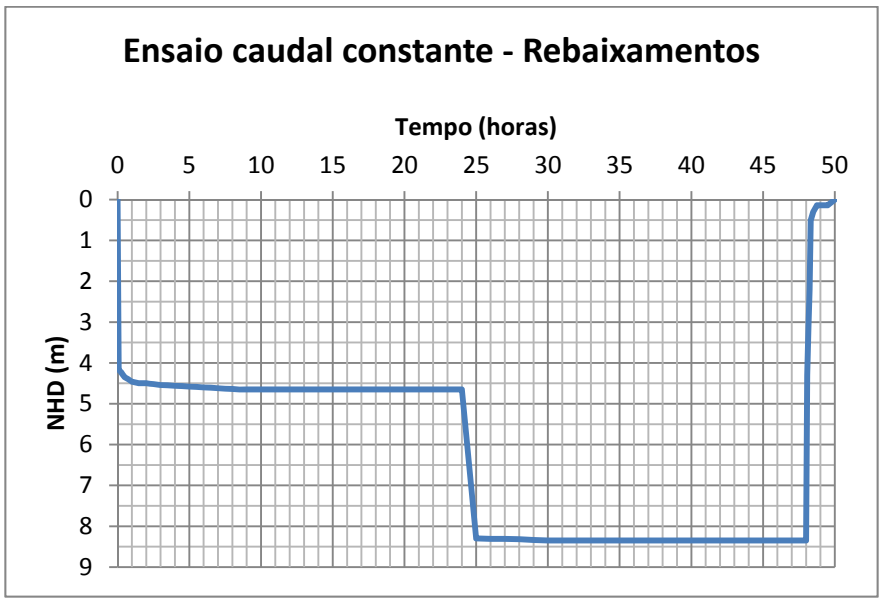
Figura 1. Registos do ensaio de caudal escalonado (de curta duração) (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014) e representação gráfica da evolução dos niveis de água em CC3 durante a realização do referido ensaio.

Ensaios de caudal	
Data de inicio dos ensaios:	12-06-2014
Hora de inicio dos ensaios:	01:00
NHE:	4,10 m (medidos á boca do tubo de revestimento)
Profundidade de instalação da electrobomba:	42 m (medidos á boca do tubo de revestimento)

Ensaio a caudal contínuo

Hora	Tempo (min)	Tempo acumulado (min)	Caudal (l/s)	NHD (m)	Rebaixamento (m)	Regime
17:00	0	0	0	4,10	0,00	Extracção - bombagem contínua (15 l/s)
17:05	5	5	15	8,25	4,15	
17:10	10	10	15	8,30	4,20	
17:15	15	15	15	8,33	4,23	
17:20	20	20	15	8,37	4,27	
17:30	30	30	15	8,45	4,35	
17:45	45	45	15	8,50	4,40	
18:00	60	60	15	8,56	4,46	
18:30	90	90	15	8,60	4,50	
19:00	120	120	15	8,60	4,50	
19:15	135	135	15	8,61	4,51	
19:30	150	150	15	8,62	4,52	
19:45	165	165	15	8,63	4,53	
20:00	180	180	15	8,64	4,54	
20:30	210	210	15	8,65	4,55	
21:00	240	240	15	8,66	4,56	
21:30	270	270	15	8,67	4,57	
22:00	300	300	15	8,68	4,58	
22:30	330	330	15	8,69	4,59	
23:00	360	360	15	8,70	4,60	
23:30	390	390	15	8,71	4,61	
0:00	420	420	15	8,72	4,62	
0:30	450	450	15	8,73	4,63	
1:00	480	480	15	8,74	4,64	
1:30	510	510	15	8,75	4,65	
2:00	540	540	15	8,75	4,65	
2:30	570	570	15	8,75	4,65	
3:00	600	600	15	8,75	4,65	
3:30	630	630	15	8,75	4,65	
4:00	660	660	15	8,75	4,65	
4:30	690	690	15	8,75	4,65	
5:00	720	720	15	8,75	4,65	
5:30	750	750	15	8,75	4,65	
6:00	780	780	15	8,75	4,65	
6:30	810	810	15	8,75	4,65	
7:00	840	840	15	8,75	4,65	
7:30	870	870	15	8,75	4,65	
8:00	900	900	15	8,75	4,65	
8:30	930	930	15	8,75	4,65	
9:00	960	960	15	8,75	4,65	
9:30	990	990	15	8,75	4,65	
10:00	1020	1020	15	8,75	4,65	
10:30	1050	1050	15	8,75	4,65	
11:00	1080	1080	15	8,75	4,65	
12:00	1140	1140	15	8,75	4,65	
13:00	1200	1200	15	8,75	4,65	
14:00	1260	1260	15	8,75	4,65	
15:00	1320	1320	15	8,75	4,65	
16:00	1380	1380	15	8,75	4,65	
17:00	1440	1440	15	8,75	4,65	
18:00	1500	1500	20	12,40	8,30	Extracção - bombagem contínua (20 l/s)
19:00	1560	1560	20	12,41	8,31	
20:00	1620	1620	20	12,41	8,31	
21:00	1680	1680	20	12,42	8,32	
22:00	1740	1740	20	12,44	8,34	
23:00	1800	1800	20	12,45	8,35	
0:00	1860	1860	20	12,45	8,35	
1:00	1920	1920	20	12,45	8,35	
2:00	1980	1980	20	12,45	8,35	
3:00	2040	2040	20	12,45	8,35	
4:00	2100	2100	20	12,45	8,35	
5:00	2160	2160	20	12,45	8,35	
6:00	2220	2220	20	12,45	8,35	
7:00	2280	2280	20	12,45	8,35	
8:00	2340	2340	20	12,45	8,35	
9:00	2400	2400	20	12,45	8,35	
10:00	2460	2460	20	12,45	8,35	
11:00	2520	2520	20	12,45	8,35	
12:00	2580	2580	20	12,45	8,35	
13:00	2640	2640	20	12,45	8,35	
14:00	2700	2700	20	12,45	8,35	
15:00	2760	2760	20	12,45	8,35	
16:00	2820	2820	20	12,45	8,35	
17:00	2880	2880	20	12,45	8,35	
17:00	0	2880	0	12,45	8,35	Recuparação
17:05	5	2885	0	8,40	4,30	
17:10	10	2890	0	7,20	3,10	
17:15	15	2895	0	6,30	2,20	
17:20	20	2900	0	4,60	0,50	
17:30	30	2910	0	4,40	0,30	
17:45	45	2925	0	4,24	0,14	
18:00	60	2940	0	4,24	0,14	
18:30	90	2970	0	4,24	0,14	
19:00	120	3000	0	4,00	0,00	





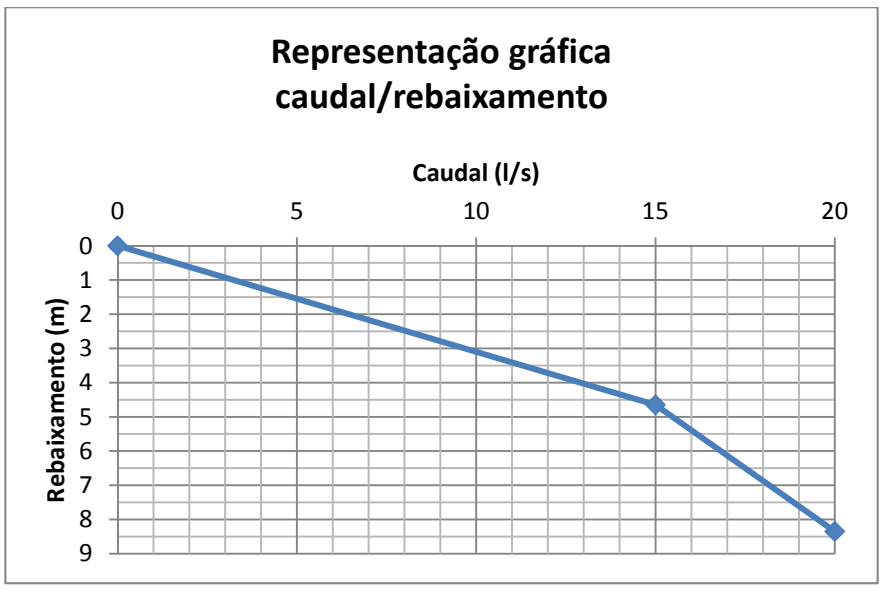


Figura 2. Registos do ensaio de caudal de longa duração (adaptado de: Sondalis Lda., Captações de Água, 2014) e representação gráfica da evolução dos niveis de água em CC3 durante a realização do referido ensaio.

Inspecção vídeo

Quadro 1. Confronto de toda a informação inerente à instalação da coluna de revestimento definitiva.

Confronto de toda a informação inerente á instalação da coluna de revestimento definitiva

Coluna de revestimento definitiva					Correspondência entre as profundidades apresentadas no video de inspecção e as profundidades reais					
Projectada			Instalada (segundo as indicações do relatório da empresa construtora)		Tubo	Comprimento unitário da tubagem (m)	Profundidade de instalação dos tubos da coluna de revestimento definitiva			
							Endoscopia		Real (estimada)	
Estrutura	Topo (m)	Base (m)	Topo (m)	Base (m)			Topo (m)	Base (m)	Topo (m)	Base (m)
Câmara de bombagem (tubos cegos)	0	50	0,8	47,7	1	0,5	---	---	(+) 0,8	(+)0,3
					2	6	---	7,5	(+)0,3	5,7
					3	6	7,5	13,5	5,7	11,7
					4	6	13,5	18,5	11,7	17,7
					5	6	18,5	24	17,7	23,7
					6	6	24	30	23,7	29,7
					7	6	30	34,5	29,7	35,7
					8	6	34,5	41,5	35,7	41,7
União de redução	50	50	47,7	47,7	9	6	41,5	47,3	41,7	47,7
					10	6	47,3	54,5	47,7	53,7
Tubos cegos	50	120	47,7	118,5	11	6	54,5	60,5	53,7	59,7
					12	6	60,5	67,2	59,7	65,7
					13	6	67,2	69,5	65,7	71,7
					14	6	69,5	76,2	71,7	77,7
					15	6	76,2	82,7	77,7	83,7
					16	6	82,7	87,4	83,7	89,7
					17	6	87,4	95	89,7	95,7
					18	6	95	100	95,7	101,7
					19	6	100	105,8	101,7	107,7
					20	6	105,8	110	107,7	113,7
					21	6	110	118,5	113,7	119,7
Tubos ralo	120	130	118,5	123,5	22	5	118,5	123	119,7	124,7
			123,5	141,5	23	5	123	127,2	124,7	129,7
Tubos cegos	130	142			24	6	127,2	133	129,7	135,7
					25	6	133	138,7	135,7	141,7
Tubos ralo	142	152	141,5	146,5	26	5	138,7	143,4	141,7	146,7
			146,5	156,5	27	5	143,4	147,2	146,7	151,7
Tubo cego	152	158			28	6	147,2	153,4	151,7	157,7
Tubos ralo	158	168	156,5	161,5	29	5	153,4	156,6	157,7	162,7
			161,5	172,5	30	5	156,6	161,4	162,7	167,7
Tubo cego	168	174			31	6	161,4	167,1	167,7	173,7
Tubo ralo	174	179	172,5	177,5	32	5	167,1	171,1	173,7	178,7
Tubo cego	179	185	177,5	182,5	33	6	171,1	176	178,7	184,7

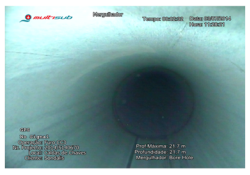
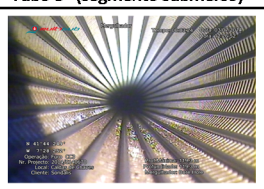
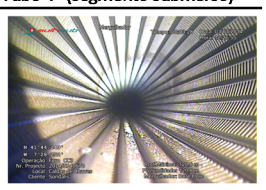
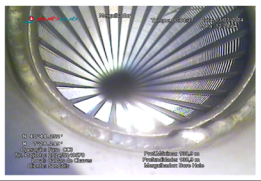
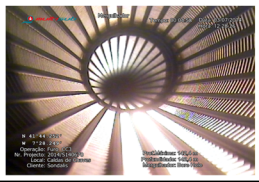
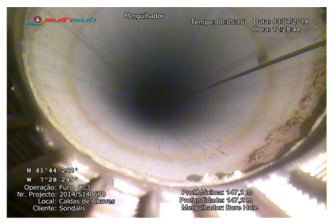
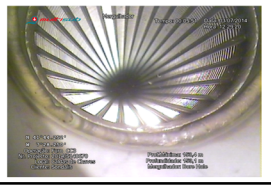
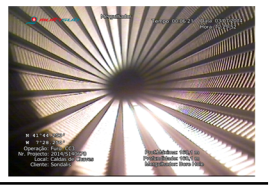
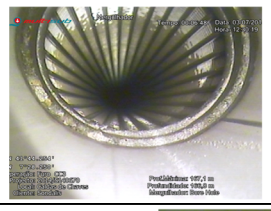
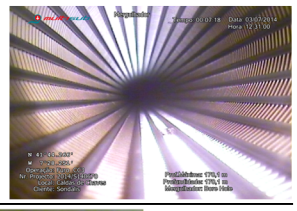
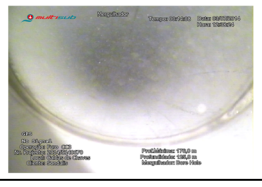
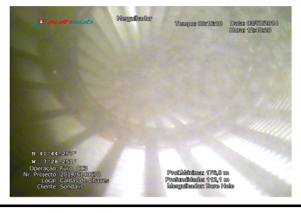
Observações: Pela quantidade (identficada na endoscopia) e comprimento (estipulado pelo frabricante) dos tubos constituintes da coluna definitiva, as indicações fornecidas pela empresa contutora relativamente ás profundidades de instalação dos tramos de tubos cegos e tubos ralos não estará correcta.

Notas: Devido a perturbações na sonda associadas á elevada temperatura da água presente na captação, as profundidades identificadas no video resultante da realização da endoscopia não correspondem á realidade, agravando-se a discrepancia á medida que se avança em profundidade.

A estimativa da profundidade real teve em conta o número de tubos instalados, o comprimento respéctivo de cada tubo, o facto da primeira solda encontrar-se cerca de 30 cm acima do nível do solo e a indicação da localização da união de redução da coluna de revestimento (8" para 4") aos 47,7 m de profundidade (de acordo com o relatório da Sondalis).

Legenda:	#	- Localização da união de redução da coluna de revestimento definitiva (8" para 4")
		- Tubos cegos
		- Tubos ralo

Quadro 2. Inspecção vídeo à captação CC3.

Inspecção video á captação CC3					
–	Profundidade (m)		Tubagem da coluna	Observações (referências em profundidade relativas ás profundidades indicadas no video da endoscopia)	Fotografias representativas
	Video	Real			
Filmagem com deslocação da sonda em sentido descendente	0-7,5	0-119,7	Tubo cego	Segmento acima do nível de água (7,5 m); Coluna de revestimento limpa.	  Tubo 8" (segmento submerso) Tubo 4" (segmento submerso)
	7,5-50			Água turva e com muitas partículas em suspensão, embora a parede da coluna de revestimento se apresente aparentemente limpa.	
	50-60			Água algo turva e com considerável número de partículas em suspensão; Paredes da coluna de revestimento limpas.	
	60-118,5			Água com turvação já diminuta; Paredes da coluna de revestimento limpas.	
	118,5-122	119,7-129,7	1º tramo de tubos ralo	Água sem turvação; Raras partículas de seixo entalhadas nos slots; Considerável quantidade de finos adesivos aos ralos, com principal incidência em cerca de 1/3 a 1/2 do perímetro da coluna.	  Imagens representativas da profundidade 118,5-128 m
	122-128			Água sem turvação; Muito raras partículas de seixo encravadas nos slots. Presença irrelevante de finos alojados nos ralos; Rara presença de pequenas incrustações lamelares adesiva á coluna.	
	128-139	129,7-141,7	Tubo cego	Nada de relevante a apontar.	————
	139-148	141,7-151,7	2º Tramo de tubos ralo	Presença irrelevante de finos alojados nos ralos. Aos 141m de profundidade é evidente uma pequena mancha de concentração de finos com formato circular, desenvolvida por cerca de 10 a 20 cm de diâmetro, mas também irrelevante; Muito raras partículas encravadas nos slots. No último metro do tramo (mais profundo) verifica-se maior concentração de partículas encravadas nos slots, mas continuam a apresentar-se em quantidade irrelevante.	 
	148-153	151,7-157,7	Tubo cego	A solda de junção entre os tubos ralo e cego localizada a 148m de profundidade apresenta uma ligeira reentrância e pequena acumulação de finos, mas desprezáveis face às dimensões que desenvolvem. A mancha de finos inscreve-se imediatamente abaixo da solda (no tubo cego) por escassos cm de extensão ocupando cerca de 1/4 do perímetro do tubo. Esta evidência derivará de ineficiente limpeza (devido á reentrância da solda) e não de rotura da referida solda, até porque não se verifica entrada de água pela solda, nem o seu formato evidencia tal entrada, visto que a mancha desenvolve-se no sentido descendente, e como o fluxo de água é ascendente, o seu formato perante uma hipotética entrada de água teria de se desenvolver ascendentemente e com um zona "mais limpa" no seu seio (provocada pelo fluxo), situações que não se verificam.	
	153-161	157,7-167,7	3º Tramo de tubos ralo	Presença irrelevante de finos nos ralos. Verifica-se uma pequena acumulação com maior incidência localizada imediatamente acima da base do tramo e estendendo-se por cerca de 20 cm, mas também irrelevante.	 
	161-167	167,7-173,7	Tubo cego	Nada de relevante a apontar.	————
	167-~171	173,7-178,7	4º Tramo de tubos ralo	Considerável quantidade de finos presentes nos ralos e dispostos por todo o perímetro e extensão do tramo; No topo do tramo verifica-se relativa limpeza, mas inscrita apenas com cerca de 10 cm de extensão por metade do perímetro da tubagem; Embora o tramo contenha muitos finos adesivos às paredes da coluna, a visibilidade no movimento descendente da câmara apresenta bom alcance, visto não existirem partículas em suspensão, encontrando-se todos os finos presentes adesivos às paredes da coluna de ralos; Não se verificam partículas encravadas nos slots.	 
	~171-176	178,7-184,7	Tubo cego	Considerável presença finos adesivos às paredes da coluna; Quando se interrompe a movimentação descendente da sonda, os finos por ela levantados (das paredes da coluna) formam uma nuvem que envolve a lente de filmagem, perdendo-se por completo a visão das paredes da coluna. Como no 4º tramo de ralos, durante o movimento descendente contínuo a visibilidade é relativamente boa (com a sonda em movimento a visibilidade alcança cerca de 1m), pois embora haja bastante material adesivo ás paredes, o material em suspensão na água não é relevante.	
	176		––	Presença de sedimentos (finos), os quais impedem o avanço da sonda.	————
Filmagem com deslocação da sonda em sentido ascendente	157- 150	162,7-157,7	3º tramo de tubos ralo	Devido aos finos levantados pela sonda na filmagem em sentido descendente apenas se obteve visualização acima dos 157m (3 a 4m acima da base do 3º tramo de tubos ralo). A esta profundidade consegue-se obter relativa visibilidade (foto 1), mas após descer a sonda (por cerca de 0,5m) perdeu-se rapidamente a visão devido á densa nuvem de partículas em suspensão verificada abaixo do nível 157m. Aos 156m já se obtém relativamente boa visibilidade, embora haja ainda partículas em suspensão, e aos 155m (nível de junção entre 2 tubos ralo) a visibilidade já é nítida (foto 2), sendo diminutas as partículas de finos em suspensão; Quanto á presença da material alojado nos ralos do 3º tramo, verifica-se que abaixo dos 155m é maior face ao segmento acima dos 155m, mas irrelevante.	  Foto 1 Foto2
	150-144	157,7-151,7	Tubo cego	Nada de relevante a apontar.	————
	144-134	151,7-141,7	2º tramo de tubos ralo	Os ralos parecem bem limpos, embora se continue a notar a mancha mencionada na filmagem descendente. Vêem-se raras partículas encravadas nos slots e alguma matéria em suspensão. Quando é interrompido o movimento da sonda, alguma da matéria adesiva aos ralos entra em suspensão devido á agitação causada pela sonda, alojando-se novamente nas paredes da coluna da captação após a agitação perder vígor.	————
	134-117	141,7-129,7	Tubo cego	Acima dos 132m de profundidade (pouco acima da coluna do 2º tramo de ralos) verifica-se água com ligeira turvação e alguma matéria em suspensão. Esta turvação talvez resulte de finos provenientes do 1º tramo de ralos (localizado acima deste nível e com alguns finos alojados), que terão sido levantados e transportados pela agitação provocada pela sonda na filmagem em movimento descendente.	
	117-107	129,7-119,7	1º tramo de tubos ralo	Á medida que a sonda é elevada, a turvação e as partículas em suspensão agravam-se (atingindo uma concentração exagerada para uma zona circulada), mas sem perder a visualização das paredes da coluna. As partículas em suspensão resultarão do movimento ascendente da sonda, que provoca agitação da água e, consecutivamente, o levantamento dos finos alojados nos ralos deste tramo (constatação verificada na filmagem com deslocação descendente). A turvação apenas diminui a cerca de 1 a 1,5m do topo do tramo, e mesmo nesses 1,5m verifica-se ainda material em suspensão (aparentemente pequenas incrustações), este de maior dimensão mas menos concentrado, formando uma nuvem pouco densa, o que permite boa visibilidade.	
	107-7,5	119,7-5,7	Tubo cego	Ligeira turvação devido a algum material em suspensão (como verificado na descida no segmento 7,5-50m) resultante do movimento ascendente da sonda.	————

Observações: Ao longo de toda a filmagem realizada no sentido descendente, quando se interrompe o movimento da sonda, uma pequena nuvem de finos (pouco densa e praticamente irrelevante) atinge a objectiva, mas sem impedir a visibilidade em momento algum, e esvanece-se rapidamente. A excepção ao enunciado ocorre no segmento da captação abaixo dos 167m de profundidade, a partir daí a nuvem adensa-se e impede a visibilidade por completo.

Na filmagem realizada com movimento ascendente da sonda a presença da referida nuvem é permanente, mas sem por em causa a visibilidade (excessão feita aos segmentos enunciados nos campos acima).

A turvação verificada até aos 60m resulta de uma anterior inspecção abortada a essa profundidade, a qual terá provocado agitação da água e a consequente turvação. As fotografias realizadas nessa inspecção anterior, que não retractam turvação, e a ausência de material em suspensão imediatamente abaixo dos 60 m comprovam a constatação.O facto de a turvação perdurar entre as duas inspecções resulta deste segmento constituído por tubos cegos não verificar ascensão da coluna de água (note-se que o segmento localiza-se acima dos tubos ralo, logo para se verificar ascensão de água a captação teria de encontrar-se em exploração), o que motiva a lenta dissipação da nuvem de partículas.

Notas: A inexistência de filmagem radial não permite avaliar com elevado detalhe a presença de finos nos slots dos tubos ralo.